

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování do rohu

Effect of Cutting Edge Rounding on Inset Durability when Corner Milling

Student: Bc. Bára Matušková

Osobní číslo: MAT0321

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Bára Matušková

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2303T002 Strojírenská technologie

Téma:

Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování do rohu
Effect of Cutting Edge Rounding on Inset Durability when Corner Milling

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Vliv úpravy řezné hrany VBD na její vlastnosti.
3. Možnosti úpravy řezné hrany.
4. Návrh vlastního řešení.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

BRYCHTA, Josef; SADÍLEK, Marek; ČEP, Robert; PETRŮ, Jana. Progresivní metody v obrábění. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2011, 144 s. ISBN 978-80-248-2513-7. Dostupné na: http://projekty.fs.vsb.cz/019/dokumenty/Progresivni_metody_v_obrabeni_FINAL.pdf
NELUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert (25%); TABAČEK, Marián. Experimentálne metódy v trieskovom obrábání. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SHAW, M. C. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford University Press, 2005. 651 pp. ISBN 0-19-514206-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

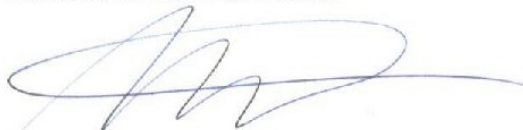


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. V práci jsem použila interní údaje a poklady z firmy Pramet Tools, s. r. o., Šumperk a firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 18. května 2020.



.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- Jsem si vědoma, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020



.....
Podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MATUŠKOVÁ, B. *Vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost VBD při frézování do rohu: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2020, 54 s. Vedoucí práce: Vrba, V.

Diplomová práce je zaměřena na vliv velikosti zaoblení řezné hrany na trvanlivost vyměnitelné břitové destičky. V první části této práce je zaměření firmy DormerPramet a popis technologie frézování. V další části se práce zaměřuje na slinuté karbidy a typy opotřebení nástroje. V hlavní části práce je porovnání testů trvanlivosti vyměnitelných břitových destiček konkurenčních společností se stejným zaoblením řezné hrany a za stejných řezných podmínek. Dále byla porovnána drsnost obrobeného povrchu po frézování a srovnání výroby zaoblení. V závěru práce je technicko – ekonomické zhodnocení dosažených výsledků.

Klíčová slova: zaoblení, trvanlivost, vyměnitelné břitové destičky, frézování, drsnost

ANNOTATION OF MASTER THESIS

MATUŠKOVÁ, B. *Effect of Cutting Edge Rounding on Inset Durability when Corner Milling: Master Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2020, 54 p. Thesis head: Vrba, V.

The Master thesis is focused on the effect of the amount of rounding of the cutting edge on the durability of the replaceable inserts. The first part of this work is focus of Dormer Pramet company and description of milling technology. In the next part is the thesis focused on sintered carbides and types of tools wear. In the main part of the work is a comparison of durability tests replaceable inserts of competing companies with the same cutting rounding edges and at the same cutting condition. The roughness of the machined surface after milling and the production of rounding was compared. At the end of the work is a technical - economic evaluation of the achieved results. after milling and the production of rounding was compared. At the end of the work is a technical - economic evaluation of the achieved results.

Keywords: rounding, durability, indexable cutting inserts, milling, roughness

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD.....	9
1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU.....	10
1.1 SPOLEČNOST DORMERPRAMET	10
2 VLIV ÚPRAVY ŘEZNÉ HRANY VBD A JEJÍ VLASTNOSTI.....	11
2.1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ	11
2.1.1 Řezné síly při frézování.....	13
2.1.2 Rohové frézování.....	14
2.2 SLINUTÉ KARBIDY	15
2.2.1 Historie a vývoj SK	15
2.2.2 Výroba slinutých karbidů.....	16
2.2.3 Rozdělení slinutých karbidů dle ISO 513.....	19
2.2.4 Vyměnitelné břitové destičky	20
2.3 OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE.....	21
2.3.1 Opotřebení na hřbetě nástroje.....	23
2.3.2 Opotřebení na čele ve tvaru žlábků	23
2.3.3 Opotřebení na špičce (plastická deformace)	24
2.3.4 Opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu.....	24
2.3.5 Hřebenové trhliny na ostří.....	25
2.3.6 Únavový lom nástroje	25
2.3.7 Vydrolování ostří	26
2.3.8 Lom břitu.....	26
2.3.9 Tvorba nárůstku.....	27
2.4 TRVANLIVOST NÁSTROJE	27
3 MOŽNOSTI ÚPRAVY ŘEZNÉ HRANY	30
3.1 TECHNOLOGIE PRO ÚPRAVU MIKRO-GEOMETRIE NÁSTROJE	30
3.1.1 Kartáčování	31
3.1.2 Pískování.....	31
3.1.3 Vlečné omílání	32

4	NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ.....	33
4.1	KONKURENČNÍ VBD.....	33
4.2	TNGX 16.....	33
4.3	NÁSTROJ, ŘEZNÉ PODMÍNKY	34
5	DISKUZE EXPERIMENTŮ	35
5.1	OCEL 12 050.9.....	35
5.2	OBRÁBĚCÍ CENTRUM MCV 1270 POWER.....	36
5.3	VZOREK Č.1 – KONKURENČNÍ VBD.....	37
5.4	VZOREK Č.2 - TNGX 16	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	45
	ZÁVĚR	47
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM GRAFŮ	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka/symbol	Popis	Jednotka
VBD	Vyměnitelná břitová destička	
SK	Slinutý karbid	
PVD	Physical Vapour Deposition	
CVD	Chemical Vapour Deposition	
VB	opotrebení	[mm]
VB _b	opotrebení hlavního břitu	[mm]
VB _c	opotrebení špičky hlavního břitu	[mm]
VB ₂	opotrebení vedlejšího břitu	[mm]
v _c	řezná rychlost	[m/min]
n	otáčky	[ot/min]
f _{zub}	posuv	[mm/zub]
f _{min}	posuv	[mm/min]
a _p	hloubka řezu	[mm]
Ra	drsnost	[μm]

ÚVOD

Technologie obrábění je nedílnou součástí strojírenské výroby. Je to v dnešní době velmi oblíbená a rozšířená technologie, u které se setkáváme s kladením větších požadavků na výrobu, a to jak na obráběcí stroje, tak na nástroje. Cílem je vyšší produktivita a hospodárnost výroby, kterou můžeme dosáhnout volbou optimálních řezných a záběrových podmínek a volbou vhodné geometrie nástroje.

Pro třískové obrábění jsou využívány zejména vyměnitelné břitové destičky vyrobené ze slinutého karbidu. Na tyto nástroje jsou kladeny vysoké požadavky, především tedy na trvanlivost a řezivost nástroje.

V první části teoretické práce je popis technologie frézování, historie, vývoj a výroba slinutých karbidů a značení VBD. Dále jsou popisovány druhy opotřebení, trvanlivost břitu a technologie na úpravu břitu nástroje.

Experimentální část obsahuje výsledky trvanlivostních testů vyměnitelných břitových destiček konkurenčních společností, které byly testovány za stejných řezných podmínek. Součástí je porovnání opotřebení konkurenčních vzorků a také drsnosti obrobené plochy.

1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

Vysoké požadavky jsou kladeny zejména na řezné materiály, které ovlivňují produktivitu a kvalitu výroby. Mezi nejpoužívanější nástrojové materiály patří slinuté karbidy, ze kterých se vyrábí vyměnitelné břitové destičky.

Společnost DormerPramet vyrábí řezné nástroje ze slinutých karbidů. Pro zvýšení trvanlivosti jsou vyměnitelné břitové destičky povlakovány metodou PVD nebo CVD.

Opotřebení nástroje má vliv na přesnost a drsnost obrobku, proto se výrobci řezných nástrojů snaží zabránit nadměrnému opotřebení břitu, ke kterému dochází zejména na čele a hřbetu nástroje.

1.1 Společnost DormerPramet

Společnost DormerPramet je uskupení dvou významných firem, které se zabývají výrobou nástrojů. Šumperská společnost Pramet Tools, která vyrábí nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu se spojila se společností Dormer Tools, která je výrobcem monolitních rotačních nástrojů [1].

Kombinace sortimentu obou značek zajišťuje schopnost nabídnout řešení pro jakoukoliv operaci pro všeobecné strojírenství – soustružení, frézování, vrtání nebo závitování. Jejich mnohaleté zkušenosti z nich udělali špičku na trhu dodavatelů, zejména pro automobilový a železniční průmysl ale jsou také dodavatelé v oblasti metalurgie [1].

Pro export jsou určeny téměř dvě třetiny produkce, zatímco 40 % pokryje požadavky českého a slovenského trhu. Výrobky jsou expedovány do všech evropských zemí, a stále vyšší část prodeje směřuje do zemí Jižní Ameriky a jihovýchodní Asie, především Indie a Číny. V současné době společnost prodává své výrobky spolu s technickým poradenstvím poskytovaným sítí technického servisu [2].

2 VLIV ÚPRAVY ŘEZNÉ HRANY VBD A JEJÍ VLASTNOSTI

Jakost povrchu je souhrn fyzikálních, mechanických a geometrických vlastností obráběného materiálu. Úpravy řezné hrany mají vliv na trvanlivost, životnost a řezivost nástroje. Výsledné funkční vlastnosti nástroje ovlivňují především řezný materiál, povlak a řezná geometrie nástroje. Řezná geometrie se rozděluje z hlediska velikosti na makrogeometrii (jedná se především o výchozí profil břitu nástroje vzniklý broušením) i mikrogeometrii (útvary vyskytující se na břitu, které se pohybují v řádech mikrometrů a jsou ovlivněny zejména použitým řezným nástrojem).

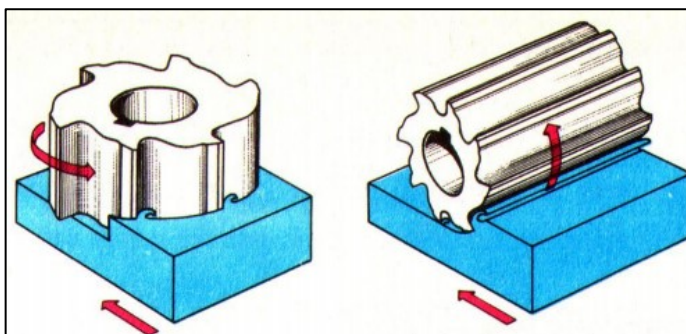
Nejdůležitější parametr při hodnocení mikrogeometrie nástroje je především poloměr zaoblení řezné hrany, který je závislý na mikrostruktuře řezného materiálu. Poloměr zaoblení rovněž ovlivňuje trvanlivost a životnost nástroje, ale v neposlední řadě také drsnost obrobeného povrchu. Velmi ostrá hrana není vhodná, protože při prvotním kontaktu obrobku s nástrojem se na hraně vytvoří přirozené zaoblení a tím se hned snižuje trvanlivost břitu nástroje.

2.1 Technologie frézování

Frézování je metoda strojního třískového obrábění, při které se materiál obrobku odebírá pomocí otáčejícího se dvou či vícebřitého nástroje kolem své osy. Vedlejší pohyb neboli posuv koná součást, a to převážně ve směru kolmém. Každý zub frézy postupně odřezává z obráběného materiálu krátké třísky nestejně tloušťky, proto je proces řezání přerušovaný. Tato metoda je jedna z nejrozšířenějších metod třískového obrábění, využívá se především pro zhotovení rovinných, tvarových ploch a pro různé druhy ozubení [3].

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje:

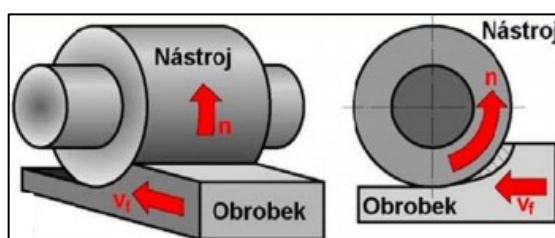
- **Frézování čelní** – využívají se čelní frézy, které mají břity po obvodu a na čele nástroje. Obrobená plocha je kolmá na osu otáčení nástroje.
- **Frézování válcové (obvodové)** – uplatňují se především válcové a tvarové frézy. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy [3,4].



Obrázek 1 - Čelní a válcové frézování [5]

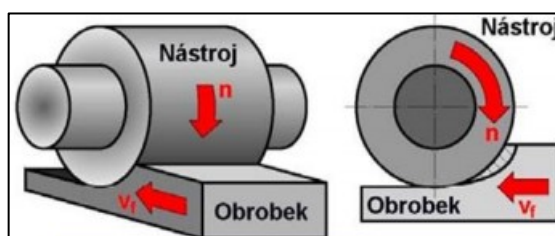
V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování:

- Nesousledné – fréza se otáčí proti směru posuvu obrobku. Vznikající tloušťka třísky se mění od nuly do konečné maximální hodnoty. K oddělování třísky nedochází v okamžiku její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Tato metoda je vhodná pro frézování obrobků s tvrdou povrchovou vrstvou.



Obrázek 2 - Nesousledné frézování [5]

- Sousedné – smysl otáčení frézy je shodný s posuvem obrobku. Maximální tloušťka třísky vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru. Výhodou je, že řezná síla působí směrem dolů, tedy do upínače, což dovoluje práci při vyšší řezné rychlosti a hloubce řezu [3,4].



Obrázek 3 - Sousedné frézování [5]

Pokud nástroj obrábí celou plochu obrobku na jedno přejetí, nastává situace, kdy bude probíhat současně sousledné a nesousledné frézování.

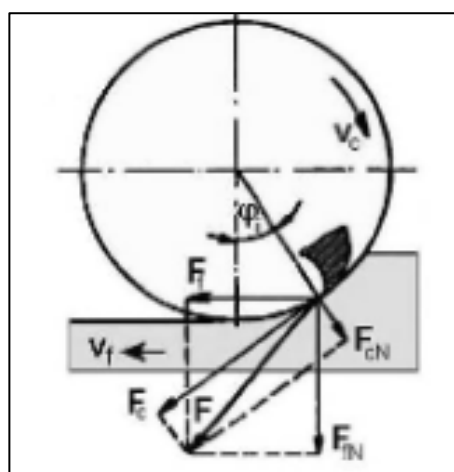
2.1.1 Řezné síly při frézování

Tvorba třísky prokazuje, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu stav napjatosti. Proces tohoto úběru materiálu provází větší plastické ale i elastické deformace. Mimo jiné se prosazují i poměry silové. Tyto silové poměry nám umožňují získat přehled o mechanickém namáhání a jsou důležité pro řešení celé technologické soustavy nejen z hlediska pevnosti, ale i tuhosti včetně stability řezného procesu [6].

Dále získáváme podklady pro zajištění celkové ekonomické bilance třískového obrábění. Posuzujeme tepelné jevy při procesu řezání, pro hodnocení trvanlivosti, respektive životnosti řezného nástroje, ale také pro posouzení podmínek přesnosti [6].

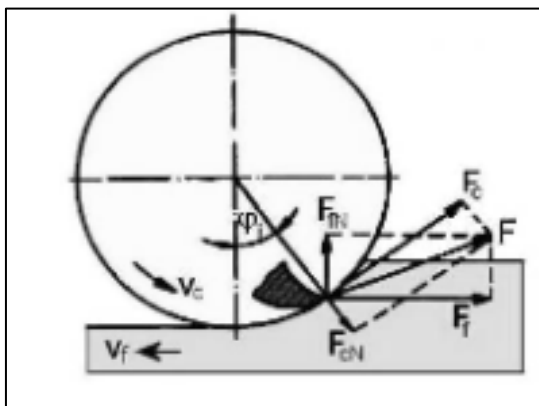
Významnou veličinou procesu je síla obrábění (řezání). Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje řezný odpor, který síla řezání musí při řezném procesu neustále překonávat [6].

Dodavatelé nástrojů doporučují pro většinu aplikací sousledné frézování, protože minimalizuje odírání a tření, ke kterému jinak dochází při nesousledném frézování. Sousledné frézování je vhodnější, kvůli maximální třísce na vstupu, kde dochází k přenosu tepla do třísky a tím i k ochraně obrobku a řezného nástroje. Třísky jsou odváděny směrem za nástroj a minimalizuje se riziko opětovného přerézávání. Kvalita obrobku je lepší než u nesousledného frézování [7]



Obrázek 4 – Rozložení řezné síly při sousledném frézování [6]

Nesousledné frézování je používáno pro obrábění nerovných povrchů nebo tenkostěnných obrobků. Při postupném vnikání do materiálu obrobku chrání tvrdý a křehký materiál břitu před poškozením nárazem. Negativní ovlivnění nástroje může způsobit nadměrné teplo a tření vznikající při mělkém vstupu. Také nerovnoměrná síla na břitu nástroj může způsobit vylamování hrany a zvyšovat namáhání. Třísky není odváděna za nástroj a může způsobit poškození výsledného povrchu, protože třísky dopadají před nástroj a mohou se dostávat zpět do místa řezu [7].



Obrázek 5 – Rozložení řezné síly při nesousledném frézování [6]

2.1.2 Rohové frézování

Při rohovém frézování vznikají současně dvě plochy, proto je zapotřebí frézování obvodem v kombinaci s čelním frézováním. Jedním z nejdůležitějších požadavků je dosažení přesného devadesátistupňového úhlu rohu. K rohovému frézování lze využívat přesné rohové frézy, ale také frézy stopkové, s dlouhými břity nebo také kotoučové frézy. Tato specifická technologie rovinného frézování je vhodná pro obrábění rohových osazení, pro drážkování, ale také pro obrábění tenkostěnných součástí [8].



Obrázek 6 - Rohové frézování [8]

2.2 Slinuté Karbidy

Slinuté karbidy s vyrábějí práškovou metalurgií spékáním karbidů wolframu (WC), titanu (Ti), tantalu (Ta), chromu (Cr) a dalších kovů. Nejčastěji se při spékání (slinování) používá kobalt jako pojivo. U slinutých karbidů se nepoužívá tepelné zpracování ke zvýšení tvrdosti z důvodu, že tvrdost slinutých karbidů je dána samotnou povahou materiálu [3].

2.2.1 Historie a vývoj SK

Slinutý karbid jako takový, byl vyvinut ve 30. letech 20. století a znamenal revoluci v podobě produktů práškové metalurgie, které obsahovaly více než 90 % tvrdých karbidů a kovové pojivo. Tento materiál měl svůj původ v Německu ve 20. letech. V porovnání s rychlořeznými oceli byla možnost mnohonásobně zvýšit řezné rychlosti [9].

První břitové destičky měli vynikající vlastnosti, díky kterým zaznamenali zlepšení zejména při obrábění šedé litiny a hliníku. Pro obrábění ocelí nebyly ideální z důvodu rychlého vymílání, proto proběhl rozsáhlý výzkum a vývoj v důležité oblasti nástrojů určených pro obrábění. Největší rozvoj v oblasti obrábění slinutými karbidy přišel se začátkem války, kdy se začaly vyrábět zbraně a dopravní prostředky. V této době začali být SK mnohostranně využívány [9].

Používání nástrojů s pájenými břitovými destičkami ze slinutých karbidů vzrostlo koncem 40. let a v průběhu 50. let. Bylo nutné zkracovat výrobní časy a tím zvyšovat produktivitu. Problematická byla pnutí vzniklá pájením, neustálé přestřování nástroje a mimoto nebylo příliš mnoho možností zhotovit břity s různými variantami geometrie [9].

V dnešní době má SK velmi širokou oblast použití a slouží pro obrábění většiny materiálů. Vyměnitelné břitové destičky jsou jak v povlakované, tak nepovlakované formě. Povlakování se provádí PVD (Physical Vapour Deposition) nebo CVD (Chemical Vapour Deposition) technologií [9].

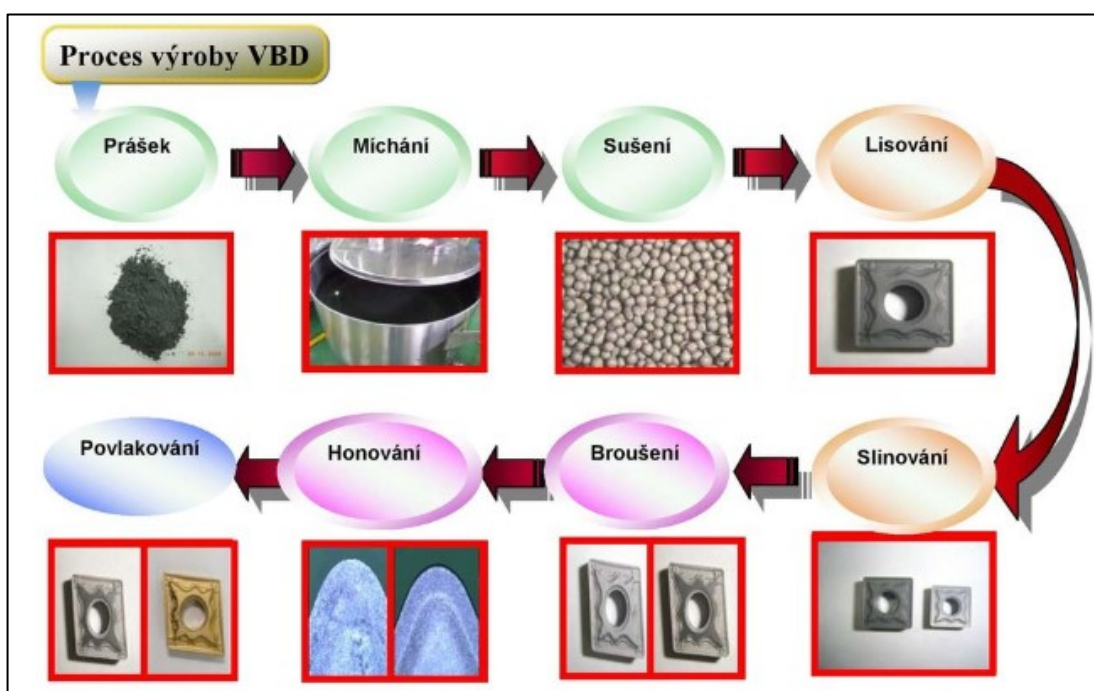
Povlakované slinuté karbidy v současnosti představují 80-90 % všech břitových destiček používaných pro obrábění. Největšími výrobci vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu jsou například společnost DormerPramet, Sandvik Coromant nebo Seco Tools [9].

2.2.2 Výroba slinutých karbidů

Slinuté karbidy se vyrábějí práškovou metalurgií. Jde o dvoufázový nebo vícefázový materiál, který je tvořen velmi tvrdými karbidovými částicemi s práškem pojícího kovu. Výroba probíhá smísením prášků v patřičných poměrech, lisováním směsi a slinováním výlisků. Ze slinutých karbidů se nejčastěji vyrábějí vyměnitelné břitové destičky, které se upevňují (buď mechanicky nebo pájením) na řeznou část nástroje [10].

Hlavní fáze výroby slinutých karbidů:

- Příprava prášků,
- lisování polotovarů,
- slinování,
- konečná úprava [11]



2.2.2.1 Příprava prášků

Základní surovinou slinutých karbidů jsou prášky kovů, někdy nekovů a jejich sloučenin. Jakost hotových výrobků závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech prášků, na chemickém složení, čistotě, velikosti a tvaru částic [12].

Nejpoužívanější surovinou pro výrobu práškového wolframu je koncentrát wolframové rudy, který obsahuje obvykle cca 70 hmotn. % oxidu wolframu. Z něho se různými chemicko-mechanickými postupy získává čistý oxid wolframu, ze kterého se vyrábí wolframový prášek redukcí s vodíkem za vzniku vody. Změnami podmínek, za kterých redukce probíhá, lze získat prášek s různou zrnitostí. Při redukci za nízké teploty s vysokým přebytkem vodíku a malým přívodem oxidu wolframového získáme jemnozrný prášek wolframu, a podobně při opačných podmínkách vzniká hrubozrný prášek. Takto získaný prášek je kromě velikosti zrna pečlivě kontrolován i na obsah kyslíku a poté slouží jako surovina pro výrobu karbidu wolframu. Prášek se smíchá v přesně určeném poměru se sazemí a směs se mele v kulovém mlýnu. Karbidy tantalu a niobu se vyrábějí podobným postupem, s tím rozdílem, že jejich oxidy jsou redukovány uhlíkem. Karbid titanu se vyrábí společně s karbidem wolframu [11].

Dle požadovaných vlastností slinutého karbidu se mísí prášek karbidu v určitém poměru s práškem kobaltu a následuje mletí v kulovém mlýnu nebo v atritoru. Tato fáze je velmi důležitou částí celého procesu výroby slinutých karbidů, protože má výrazný vliv na vlastnosti a kvalitu výsledného produktu [11].

Výsledkem je prášek, ve kterém jsou zrníčka karbidu dokonale obalena jemným práškem kobaltu. Tato struktura je základ pro pozdější slinování. Poté je každá dávka vyrobeného prášku podrobena kontrole jakosti a pokud vyhovují všechny požadavky, je tato dávka uvolněna pro další fáze výroby [11].

2.2.2.2 Lisování polotovarů

Lisováním se upravují kovové prášky a jejich směsi do tvaru výrobků. Při lisování se vlastnosti prášků mění: zmenšuje se pórovitost, dochází k plastické deformaci částic a zvětšuje se styková plocha mezi zrny. Lisování se zpravidla provádí na jednočinných nebo dvojčinných formovacích lisech za použití lisovacích forem. K prášku se nejčastěji přidává syntetický kaučuk nebo parafín (jako plastifikátor), který umožňuje snadnější lisování, a navíc snižuje tření mezi povrchem dutin lisovacích forem a lisovaným práškem [11,12].

2.2.2.3 Slinování

Slinováním se dosahuje požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností, pevnosti, tažnosti, tvrdosti a elektrické vodivosti. Teplota slinování je nižší než teplota tavení daného kovu. Slinuje-li se směs prášků různých kovů, může se nízko tavící fáze natavit. Množství roztavené fáze bývá zpravidla malé, takže tvar výrobku zůstává zachován, ale jeho rozměr se zmenšuje. Smrštění délkových rozměrů činí 17 až 25 % za předpokladu, že pórovitost je nulová. Ta ale i při nejmodernějších metodách zpracování činí 1 až 2 %. U některých prášků je teplota slinování 1050 až 1150 °C, u mědi 800 až 850 °C. Kovy, u kterých zrna při ohřevu na vyšší teploty nerostou, mají teplotu slinování blízkou teplotě tání. Doba slinování bývá 2 až 3 hodiny [12].

2.2.2.4 Konečná úprava

Podle uvažované oblasti aplikace mohou být vyměnitelné břitové destičky broušené nebo nebroušené. U některých VBD pro frézování mohou být vysoké nároky na rovinnost dosedacích ploch. Dále bývají často broušeny obvody a poloměry špičky, případné přechodové a hladící břity, čelní a hřbetní fazetky i utvařeče [11].

U VBD bývají zpravidla tvary utvařečů a fazetek finálně vytvořeny již při lisování v lisovacím nástroji. K dalším finálním operacím při výrobě VBD patří leštění čelních ploch (zvláště u VBD pro obrábění hliníku), a zejména rektifikace řezných hran kartáčováním a pískováním. Řezné hrany jsou tímto postupem zaobleny v rozsahu 20 až 100 μm , což vede k jejich stabilizaci a k lepšímu ukotvení povlaku na břitech. Další úpravy VBD určených k následnému povlakování spočívají v jejich odmašťování, mechanickém čištění a kartáčování či pískování za účelem rektifikace břitů. Finální operace konečné úpravy břitů spočívá v povlakování CVD nebo PVD metodou [11].



Obrázek 7 – Vyměnitelná břitová destička [13]

2.2.3 Rozdělení slinutých karbidů dle ISO 513

Slinuté karbidy dělíme do šesti skupin dle mezinárodní normy ISO 513. Tato norma udává vhodnost pro obrábění určitých materiálů, namáhání břitu a opotřebení [14].

Podskupiny dále uvádí dvojciferné číslo, které udává poměr mezi tvrdostí a houževnatostí. Vyšší číslo zde znamená vyšší houževnatost a nižší tvrdost [14].

Tabulka 1 - Rozdělení SK dle ISO 513 [14]

Skupina	Podskupina	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	Tato skupina je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou, plynulou třísku: nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automatická ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35	SK pro obrábění materiálů, které dávají dlouhou, střední třísku: austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárupevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	SK pro obrábění materiálů, které dávají krátko, drobivou třísku: nelegovaná i legovaná šedá litina, temperovaná a tvárná litina.
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	SK pro obrábění neželezných materiálů: slitiny hliníku a mědi, duroplasty, fibry, tvrdá guma.
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	SK pro obrábění: žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi i nebo Co, Titanu a jeho slitin.
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	SK pro obrábění: zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48-60, tvrzené kokilové litiny HSh 55–58.

2.2.4 Vyměnitelné břitové destičky

Vyměnitelné břitové destičky neboli VBD jsou nejspíše nejdůležitějším konstrukčním prvkem pro třískové obrábění. Jejich sortiment je velice rozsáhlý a je neustále doplňován novými typy destiček. Pro snadnější orientaci je značení nejběžnějších vyměnitelných destiček mezinárodně sjednoceno normami ISO [15].

Značení VBD dle mezinárodní normy ISO

PRAMET

ISO - SYSTÉM ZNAČENÍ VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK

ISO

1

2

3

4

T
T

N
N

U
M

N
G

ANSI

1

2

3

4

T
T

N
N

U
M

N
G

1

1

Tvar destičky

2

2

Úhel hřbetu destičky

4

4

Provedení destičky

3

3

Tolerance / Допуск / Tolerancia / Tolerancia

	[mm] / [μm]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
A	0,005	0,025	0,025
F	0,005	0,025	0,013
C	0,013	0,025	0,025
H	0,013	0,025	0,013
E	0,025	0,025	0,025
G	0,025	0,130	0,025
J	0,005	0,025	0,05 ± 0,13
K	0,013	0,025	0,05 ± 0,13
L	0,025	0,025	0,05 ± 0,13
M	0,08 ± 0,18	0,130	0,05 ± 0,13
N	0,08 ± 0,18	0,025	0,05 ± 0,13
U	0,05 ± 0,38	0,130	0,05 ± 0,13

	[in]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
	0,0002	0,001	0,0010
	0,0002	0,001	0,0005
	0,0005	0,001	0,0010
	0,0005	0,001	0,0005
	0,0010	0,001	0,0010
	0,0010	0,005	0,0010
	0,0002	0,001	0,002 ± 0,005
	0,0005	0,001	0,002 ± 0,005
	0,0010	0,001	0,002 ± 0,005
	0,003 ± 0,007	0,005	0,002 ± 0,005
	0,003 ± 0,007	0,001	0,002 ± 0,005
	0,005 ± 0,015	0,005	0,003 ± 0,010

Obrázek 8 - Značení VBD [16]

5	6	7	8	9	10
22	04	08	E	N	-
22	04	08			M
5A	6A	7A	8	9	10
4	3	2			
4	3	2	E	N	M

5	6	7
Délka řezné hrany (velikost) destičky		
d = I.C.	H	O
[mm]	[in]	
3,97		03 06
4,76		04 08 04 05 04 04 08 L3
5,56		05 09 05 06 05 05 09 03
6,35	03 02 04 08 11 06 07 08 08 11 04 06	
7,94	04 03 05 07 13 08 09 06 07 13 05 07	
9,525	05 04 07 09 16 09 11 09 09 16 06 09 16	
12,7	07 05 09 12 22 12 15 13 12 22 08 12	
15,875	09 06 11 15 27 16 19 16 15 27 10 15	
19,05	11 07 13 19 33 19 23 19 19 33 13 19	
25,40	14 10 18 25 44 25 31 26 25 44 17 25	
31,75	18 13 23 31 54 32 38 32 31 54 21 31	
1 1/4"		

5A	6A	7A
Vepsané kružnice Вписанные окружности Okrąg wpisany Vpisaná kružnica	Tloušťka destičky Толщина пластины Grubość płytki Hrúbka dosťky	Rádus špičky destičky Радиус при вершине пластины Promień wierzchołka Rádus špičky dosťky
d = I.C.	s	r
[mm] / [mm] [in]	[mm] / [mm] [in]	[mm] / [mm] [in]
1 3,175 1/8"	1 1,588 1/16"	0.2 0,099 1/256"
1.2 3,969 5/32"	1.2 1,984 3/32"	0.5 0,198 1/128"
1.5 4,763 3/16"	1.5 2,381 3/16"	1 0,397 1/64"
1.8 5,556 7/32"	2 3,175 1/8"	2 0,794 1/32"
2 6,350 1/4"	2.5 3,969 5/32"	4 1,588 1/16"
2.5 7,938 5/16"	3 4,763 3/16"	5 1,984 5/64"
3 9,525 3/8"	3.5 5,556 7/32"	6 2,381 3/32"
4 12,700 1/2"	4 6,350 1/4"	7 2,778 7/64"
5 15,875 5/8"	5 7,938 5/16"	8 3,175 1/8"
6 19,050 3/4"	6 9,525 3/8"	10 3,969 5/32"
7 22,225 7/8"	7 11,113 7/16"	12 4,763 3/16"
8 25,400 1"	8 12,700 1/2"	14 5,556 7/32"
10 31,750 5/4"	9 14,288 9/16"	16 6,350 1/4"
12 38,100 6/4"	10 15,875 5/8"	

8	8
Provedení řezné hrany destičky / Исполнение режущей кромки Wykonanie ostrza / Prevedenie reznej hrany	
 Ostré hrany Острая кромка Krawędź ostra Ostré hrany	 Zaoblené hrany Скругленная кромка Krawędź zaokrąglona Zaoblené hrany
 Hrany s fazetkou Кромка с фаской Krawędź ze ścinem Hrany s fazetkou	 Zaoblené hrany s fazetkou Скругленная кромка с фаской Krawędź zaokrąglona ze ścinem Zaoblené hrany s fazetkou
 Hrany s dvojitou fazetkou Кромка с двойной фаской Krawędź z 2 ścinami Hrany s dvojitou fazetkou	 Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou Скругленная кромка с двойной фаской Krawędź zaokrąglona z 2 ścinami Zaoblené hrany s dvojitou fazetkou

9	9
Směr posuvu / Направление подачи / Kierunek skrawania / Smer posuvu	
 Резка / Правое направление Резка / Rozłaz	 Резка / Левое направление Резка / Rozłaz
 Резка / Нормальное исполнение Резка / Rozłaz	 Резка / Нормальное исполнение Резка / Rozłaz

10	10
Utvařeč / Обозначение стружколомачей геометрии / Łamacz włótn / Utvárač	

Obrázek 9 - Značení VBD [16]

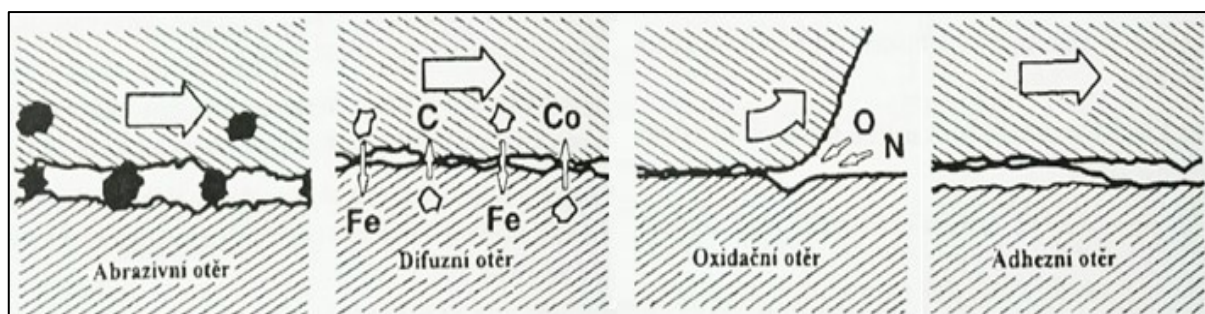
2.3 Opotřebení nástroje

K opotřebení břitu řezného nástroje dochází při vzájemném kontaktu s obráběným materiálem, který může obsahovat tvrdé částice různého druhu a ty se příliš se svojí tvrdostí neliší od materiálu břitu nástroje [17].

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše hřbetu a čela nástroje. Při frézování se vytváří dynamický faktor v té chvíli, kdy jeden břit vystupuje z materiálu a jiný do něj vniká. V této situaci nastává značné tepelné zatížení namáhající materiál břitu. Při vytváření čistého kovového povrchu obráběním má obráběný materiál sklony k chemickým reakcím anebo k difúzním procesům [18].

Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje a vzniká opotřebení, při kterém se zvětšuje poloměr zaoblení ostří, zhoršuje se drsnost plochy čela a hřbetu v místech styku s třískou a plochou řezu a mění se postupně geometrie břitu. Mezi základní mechanismy opotřebení, které zatěžují břit nástroje patří [3]:

- abrazivní otěr – brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje,
- difuzní otěr – vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění – tzv. migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak (vzniká při obrábění uhlíkové oceli diamantem),
- oxidační otěr – vysoké teploty řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci břitu nástroje,
- adhezní otěr – je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Vyskytuje se hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje [3].



Obrázek 10 - Mechanismy opotřebení [3]

2.3.1 Opotřebení na hřbetě nástroje

Opotřebení hřbetu břitů patří mezi abrazivní formy opotřebení, projevuje se na hřbetní ploše břitů a je to všeobecně obvyklý typ opotřebení. Nejvíce opotřebovány jsou plochy hřbetu u hlavního ostří, plochy vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fazetce jsou plochy opotřebovány méně. Tento typ opotřebení nelze odstranit. Stejněměrně se zvětšující opotřebení hřbetu je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie břitů [19].

Pokud se opotřebení na hřbetu projeví příliš rychle, jsou možná opatření, která mohou zpomalit jeho vývoj, a to například snížením řezné rychlosti, zvýšením posuvu, či použitím účinnějšího chlazení [18].



Obrázek 11 - Opotřebení na hřbetě [20]

2.3.2 Opotřebení na čele ve tvaru žlábků

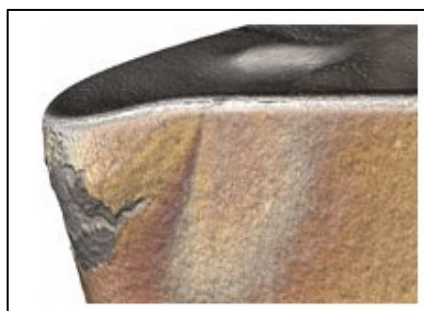
Opotřebení ve tvaru žlábků (výmolů) na čelní ploše je výsledkem působení kombinací mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Výmol, který vzniká zejména difúzí v místě břitů s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitů a zvyšuje se s rostoucí řeznou rychlostí. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může změnit geometrii břitů a ovlivnit tak tvar třísky nebo zeslabit břit tak, až dojde k jeho lomu [17,20].



Obrázek 12 - Opotřebení na čele ve tvaru žlábků [20]

2.3.3 Opotřebení na špičce (plastická deformace)

Plastická deformace špičky vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. Tlak, který působí na destičku deformuje ostří a špičku nástroje, ale může také dojít k úplnému odlomení špičky nebo k rychlému opotřebení hřbetu. Vyskytuje se při obrábění kalených ocelí nebo materiálů s deformačně zpevněným povrchem a u vysokoteplotních slitin. Vhodné opatření by bylo použití účinného chlazení, dále snížit řeznou rychlost a posuv nebo zvolit destičku s větším poloměrem zaoblení špičky [18,19].



Obrázek 13 - Opotřebení na špičce – plastická deformace [20]

2.3.4 Opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu

Opotřebení na hřbetu ve tvaru vrubu je typické adhezní opotřebení, ale může být spojováno i s oxidačním opotřebením. Tento typ opotřebení se soustředí přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění, tudíž vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Velké opotřebení může mít za důsledek lom destičky. Vrubové opotřebení je typické pro obrábění korozivzdorných ocelí a žáruvzdorných slitin [18,20].

Pro snížení opotřebení na hřbetě můžou být opatření v podobě sníženého posuvu a změnou hloubky řezu při vícenásobných úběrech. Dále můžeme použít houževnatější třídu řezného materiálu nebo snížit úhel nastavení ostří [19].

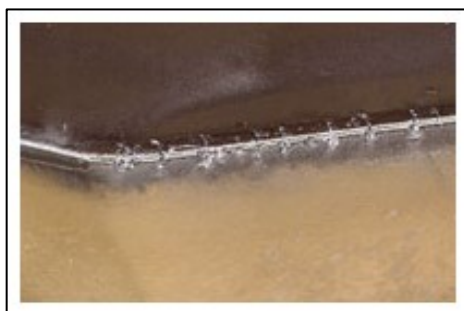


Obrázek 14 - Opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu [20]

2.3.5 Hřebenové trhliny na ostří

Hřebenové trhliny na ostří vznikají zejména kvůli velkým teplotním změnám při frézování. Je to forma únavového opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří nástroje. Částice rezného nástroje se mohou jednotlivě vylamovat a může také dojít k vylomení částic karbidu nebo by mohl nastat náhlý lom břitu [18].

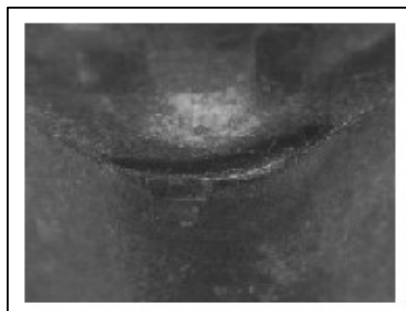
Nedoporučuje se používat chladicí kapaliny z důvodu zvyšování rozdílu teplot při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj [18,19].



Obrázek 15 - Hřebenové trhliny na ostří [20]

2.3.6 Únavový lom nástroje

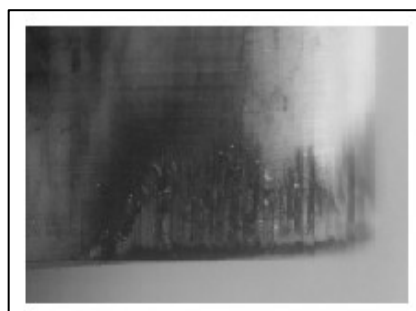
Tento typ opotřebení vzniká opakovanými značnými změnami v namáhání neboli různými velikostmi rezných sil, které nejsou tak velké, aby měly za následek lom. Únavový lom je typický pro přerušovaný řez. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení síly řezání mohou být pro pevnost a houževnatost VBD příliš náročné. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím nástroje [18].



Obrázek 16 - Únavový lom nástroje [17]

2.3.7 Vydrolování ostří

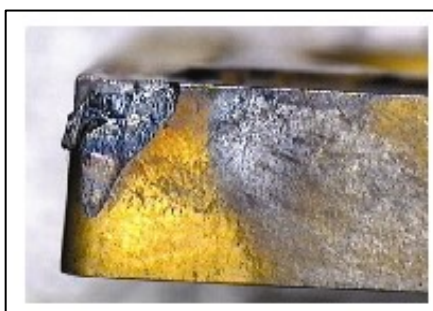
Je to forma opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částice rezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Odlupování materiálu a trhliny mohou být předchůdcem lomu břitu. Dalšími faktory způsobující tento typ opotřebení mohou být nevhodná volba rezného materiálu, nebo nevhodná volba ostří [18].



Obrázek 17 - Vydrolování ostří [18]

2.3.8 Lom břitu

Konec funkčnosti rezného prvku představuje lom břitu a považujeme to za konec jeho trvanlivosti. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Vylomení destičky je způsobeno nadměrným opotřebením jakéhokoli výše jmenovaného typu nebo také mechanickým přetížením – při velkém mechanickém zatížení dojde k vylomení destičky během prvních okamžiků řezu. Velmi často je zvolený materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění [18,19].

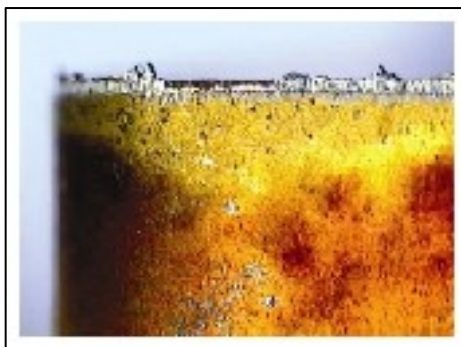


Obrázek 18 - Lom břitu nástroje [19]

2.3.9 Tvorba nárůstku

Tvoření nárůstku se převážně vztahuje k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsoben i odlupováním vrstev v místě bříty, nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie bříty působí tato forma opotřebení negativně ještě proto, že se mohou částice materiálu bříty odlomit společně s navařeným nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobku. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování, a to má za následek vytvoření nárůstku. Nadměrná tvorba nárůstku může vést i k lomu břitové destičky [21].

Nárůstek se tvoří zejména u měkkých materiálů, neželezných kovů (hliníkové slitiny), vysokoteplotních slitin a korozi-vzdorné oceli. Projevuje se zejména při nízkých řezných rychlostech, zejména u závitování, frézovacích a vrtacích operací. Tvorbu nárůstku můžeme eliminovat použitím jakéhokoli povlaku na břitové destičce, nebo zvolit jiný typ destičky s ostřejší řeznou geometrií a leštěnou plochou čela, případně můžeme zvýšit koncentraci chladicí emulze [19].



Obrázek 19 - Tvorba nárůstku [19]

2.4 Trvanlivost nástroje

Trvanlivost řezného nástroje je určena součtem všech čistých strojních časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení bříty nástroje na hodnotu předem stanovenou. Je to doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce [3,18].

Z technologického hlediska rozdělujeme poruchy nástroje:

- Postupné (např. opotřebení nástroje),
- náhlé (vylomení bříty, celková destrukce bříty) [3].

Trvanlivost nástroje závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, a především na řezných podmínkách. V technologické praxi se velmi často trvanlivost nástroje vztahuje ke kritériu opotřebení břitu nástroje [18].

Počátkem 20.století zjistil F. W. Taylor, že největší vliv ze všech řezných podmínek má na trvanlivost nástroje právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, na němž jsou založeny dnešní normy. Tento vztah je znám jako „T- v_c závislost“ nebo také Taylorův vztah [18].

$$T = \frac{c_T}{v_c^m} [min]$$

kde,

c_T [-] – konstanta

v_c [$m \cdot min^{-1}$] - řezná rychlost

m [-] - exponent (udává míru závislosti řezné rychlosti na trvanlivost) [17]

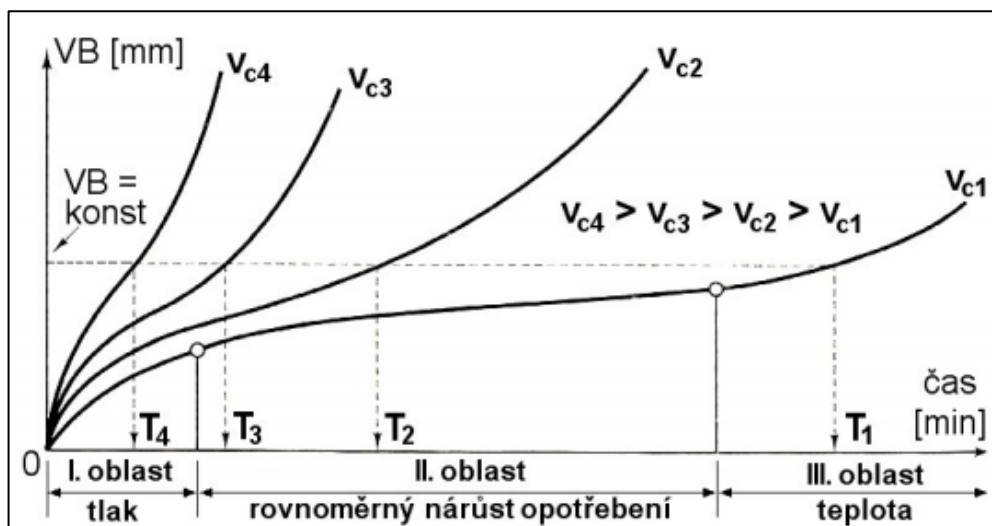
Vzhledem k velmi vysoké a nepraktické hodnotě konstanty c_T se využívá Taylorův vztah ve tvaru:

$$v_c = \frac{C_v}{T^{\frac{1}{m}}} [m \cdot min^{-1}]$$

kde,

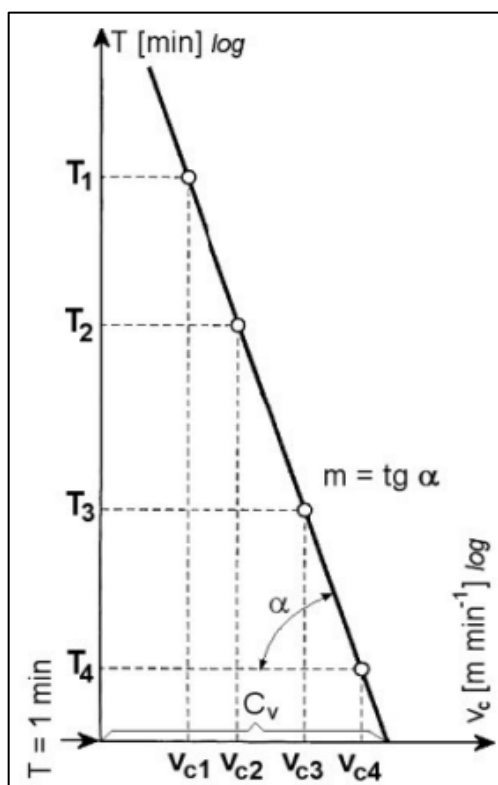
c_v [-] konstanta, ($c_v = T = 1$ min)

Postup při stanovování základní T- v_c závislosti pro konkrétní kombinaci řezný nástroj – obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. Za ostatních konstantních řezných podmínek je daný materiál obráběn daným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje. Zkoušky trvanlivosti se provádí dle normy ČSN ISO 3685 pro nástroje ze slinutého karbidu. Při nejvyšší řezné rychlosti nemá trvanlivost klesnout pod hodnotu 5 minut, pro obrábění ušlechtilých materiálů je trvanlivost nižší, ale ne však pod hodnotu nižší než 2 minuty [17].



Obrázek 20 - Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech [17]

Pro předem stanovenou hodnotu VB můžeme z časových křivek odečíst jednotlivé trvanlivosti T_1, T_2, T_3 a T_4 . Tyto trvanlivosti odpovídají zvoleným rychlostem v_{c1}, v_{c2}, v_{c3} a v_{c4} . Tyto body jsou pak vyneseny do diagramu a spojí se mezi sebou T_1 s v_{c1} , T_2 s v_{c2} atd. Takto spojené souřadnice nám vytvoří přímku. Tato přímka odpovídá hodnotě VB . Hodnotu C_T můžeme odečíst z osy T a hodnotu C_v na ose v_c . Nevýhodou je omezení podmínkami – šířka záběru ostří, posuv a opotřebení musí být konstantní [18].



Obrázek 21 - Zlogaritmovaný vztah $T-v_c$ [13]

3 MOŽNOSTI ÚPRAVY ŘEZNÉ HRANY

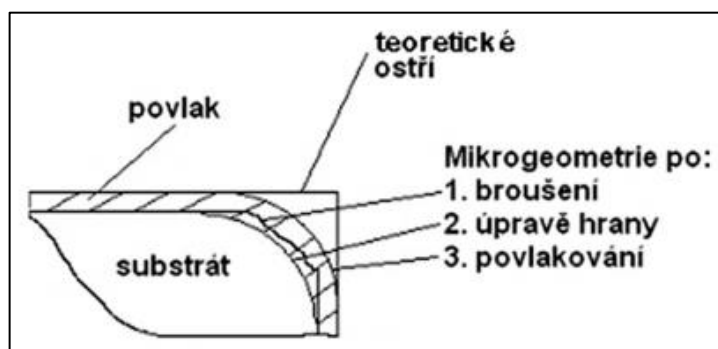
Z důvodu zvyšování trvanlivosti nástrojů je čím dál větší důraz kladen na mikro-geometrii nástroje, která je ovlivněna jak řezným materiálem, tak i naneseným otěruvzdorným povlakem, který dále ovlivňuje drsnost povrchu a poloměr zaoblení řezné hrany [22,23].

Pod pojmem mikro-geometrie nástroje si můžeme představit především útvary, které se vyskytují na břitě nástroje a pohybují se v řádech mikrometrů. Zejména jde o zakřivenost a defekty povrchu vlivem drsnosti po technologii broušení. Při nanesení tenké vrstvy na ostří může dojít k odlupování vlivem velkého napětí koncentrovaného do malé plochy. Další problém může nastat i na vlastním ostří nástroje z SK, kde vznikají ostré hrany po broušení vlivem vytrhání tvrdých karbidů z pojiva [24].

3.1 Technologie pro úpravu mikro-geometrie nástroje

Technologie pro úpravu mikro-geometrie nástroje se neustále vyvíjejí a rozšiřují. Jako první se začala aplikovat technologie kartáčování a to proto, že tato technologie nepotřebovala žádné speciální přístrojové vybavení. Od metody kartáčování se plynule přešlo k pískování (otryskávání), kde se používá jak suché, tak i mokré médium korundu. Následovaly technologie omílání, lapování, leštění a broušení. V současnosti se začínají objevovat i nekonvenční metody, jako je úprava břitu pomocí laseru [23,25].

Tyto technologie slouží k odstranění vzniklých defektů, pro zaoblení řezné hrany a také pro změnu drsnosti ploch v okolí ostří. Tyto úpravy mají vliv na řezivost nástroje, jeho tepelné a silové namáhání, tvorbu třísky a kvalitu a přesnost obrobeného povrchu [24].

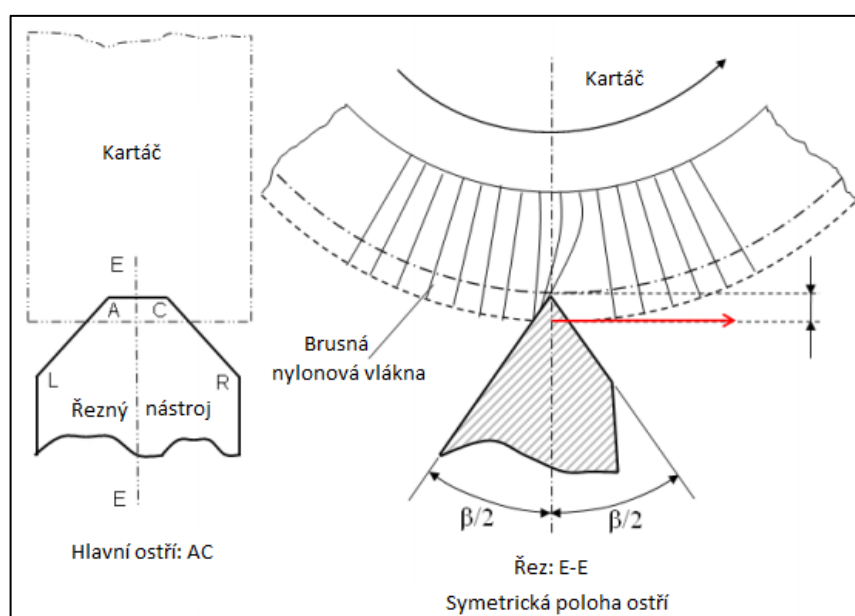


Obrázek 22 - Schéma břitu nástroje [22]

3.1.1 Kartáčování

Kartáčování je technologie, při které dochází k úpravě mikro-geometrie řezného břitu pomocí rotujícího nástroje. Pro výrobu malých a symetrických upravovaných ostří, se používá jednosměrné kartáčování (kartáčování je ve směru od čela k hřbetu nebo naopak). Dvousměrné kartáčování (kombinace obou směrů) je využíváno pro výrobu větších poloměrů zaoblení [26].

Kartáče jsou buď přírodní, které jsou vyrobené z žíní nebo rýžových kořínků a je nutné využít brusnou pastu, anebo umělé, ty jsou vyrobeny z polymerního materiálu a obsahují částice tvrdého abraziva [26].

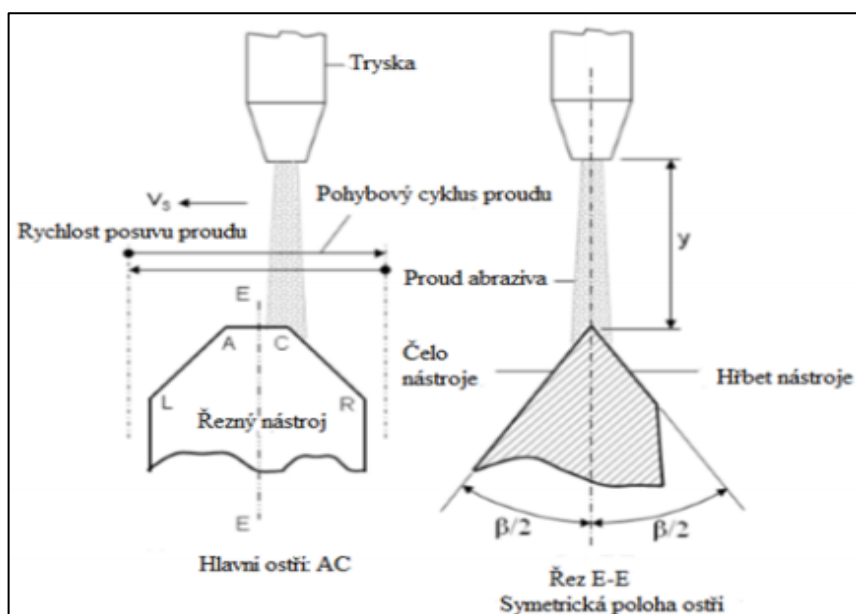


Obrázek 23 - Relativní pozice brusného kartáče a řezného nástroje [27]

3.1.2 Pískování

Technologie pískování, jinak také tryskávání je proces úpravy ostří pomocí abrazivních částic, které jsou unášeny buďto vzduchem nebo vodou. Rozlišujeme pískování suché a mokré, a to podle použitého procesního média. Tento proces úpravy ostří není tak nákladný, ale má velmi pozitivní vliv na houževnatost a spolehlivost ostří [26].

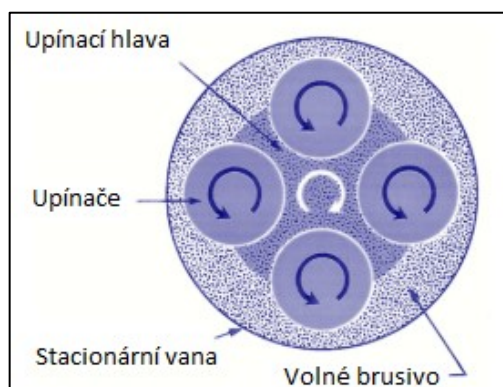
Při mokrém pískování je abrazivní médium (nejčastěji se jedná o zrna Al_2O_3) ve vířivé komoře smícháno s vodou a následně akcelarováno skrz trysku směrem k nástroji. Náraz směsi na lokalizovanou část nástroje vede k tvorbě třísek a lokální deformaci [26].



Obrázek 24 - Relativní pozice proudu abraziva a řezného nástroje [27]

3.1.3 Vlečné omílání

U technologie omílání se nástroje uchytí do rotačních držáků a jsou vlečeny abrazivním médiem, a přitom rotují kolem své osy. Rovnoměrný kontakt všech ploch nástrojů s médiem zaručuje planetový pohyb, který opisují nástroje. Důležité parametry pro požadované zaoblení hran a povrchovou úpravu jsou procesní čas, rychlost, hloubka ponoření nástrojů a samotné abrazivní médium. Tyto parametry lze přesně definovat, čímž se zaručí vysoká spolehlivost procesu a perfektní výsledek [29].



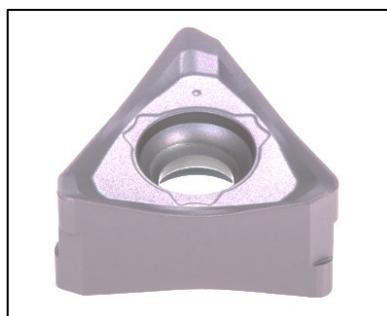
Obrázek 25 - Schéma omílání [29]

4 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

V experimentální části diplomové práce byla porovnávána trvanlivost vyměnitelných břitových destiček. Vzorek č.1 je VBD, která je vyráběna konkurenční společností a je podobného tvaru. Vzorek č.2 je VBD TNGX 16, kterou vyrábí společnost DormerPramet. Pozorujeme především opotřebení na čele a hřbetě nástrojů a také drsnost povrchu při frézování za stejných řezných a záběrových podmínek.

4.1 Konkurenční VBD

Tato vyměnitelná břitová destička konkurenční společnosti má šest řezných hran z ekonomických důvodů. Je vhodná pro nízké řezné síly i ve velké hloubce řezu. Optimalizovaný úhel sklonu ostří zajišťuje plynulý odchod třísky.



Obrázek 26 – Konkurenční VBD [30]

4.2 TNGX 16

Vyměnitelná břitová destička TNGX 16 patří do nové univerzální řady pro frézování osazení 90°. Tyto destičky, které jsou oboustranné a mají šest řezných hran podporují nízké náklady na obrábění a zároveň nabízí komplexní frézování ve velké hloubce řezu při nízkých řezných silách. Materiál VBD nabízí vyšší odolnost proti opotřebení a zajišťuje stálost výkonu i provozní spolehlivost pro nejrůznější provozní podmínky. Tento materiál je vhodný k obrábění jak za sucha, tak s použitím řezné kapaliny [31].



Obrázek 27 - TNGX 10 [32]

4.3 Nástroj, řezné podmínky

Pro porovnání trvanlivostí jsme použili jako nástroj frézu 50A05R-S90TN16-C-P01, která je vždy osazena pouze jednou VBD. Je to hlavně z ekonomického hlediska kvůli snížení spotřeby obráběného materiálu.



Obrázek 28 – Fréza 50A05R-S90TN16-C-P01

Řezné podmínky

Při porovnání trvanlivosti vyměnitelné břitové destičky společnosti DormerPramet TNGX 16 a konkurenční vyměnitelnou břitovou destičku byli použity následující řezné podmínky.

Tabulka 2 - Řezné podmínky

Řezné podmínky	Řezná rychlost [m/min] v_c	270 m/min
	Otáčky [ot/min] n	1 719 ot/min
	Posuv [mm/zub] f_{zub}	0,20 mm/zub
	Posuv [mm/min] f_{min}	344 mm/min
	Hloubka řezu [mm] a_p	2,50 mm
	Šířka fréz. plochy [mm] a_e	40 mm
	Počet záběrů	2x
	Délka záběru	800 mm
	Čas jednoho záběru	4,7 min

5 DISKUZE EXPERIMENTŮ

Cílem experimentu je porovnání opotřebení a trvanlivosti břitu vyměnitelných břitových destiček konkurenčních společností se zaoblením 45 μm za stejných řezných podmínek. Testy byly realizovány ve spolupráci se společností DormerPramet. VBD byly testovány na obráběcím centru MCV 1270 Power a byla použita ocel 12 050.9.

5.1 Ocel 12 050.9

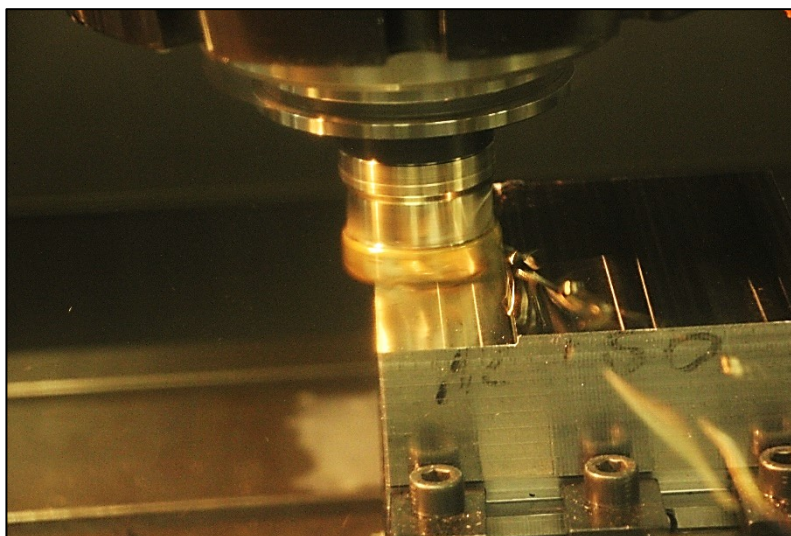
Pro zkoušky trvanlivosti jsme použili materiál ocel 12 050.9 (C45), který je používán ve firmě DormerPramet a slouží jako referenční materiál. Je to ocel určená k zušlechťování, což zaručuje tvrdost 200 HB a je nejvyšší jakosti bez jakýchkoliv nečistot. Tato ocel zaručuje výbornou obrobitelnost třískovým obráběním.

Tabulka 3 - Chemické složení v % (ocel 12 050) [33]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
0,42-0,5	0,5-0,8	0,17-0,37	max. 0,04	max.0,04	max. 0,25	max.0,3	max. 0,3

Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti – ocel 12050 [33,34]

Pevnost v tahu Rm [MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost [%]	Tvrdost [HB]
640-780	390	min. 17	max. 225



Obrázek 29 - Frézování materiálu 12 050.9

5.2 Obráběcí centrum MCV 1270 Power

Testy trvanlivosti byly prováděny ve firmě DormerPramet. Využívali jsme stroj od společnosti Kovosvit MAS a to MCV 1270 Power spolu s řídicím systémem Heidenhain TNC 530. Řada strojů MCV je postavena na nosném rámu ve tvaru C. Uspořádání a tvar odlitků nosného rámu strojů je optimalizován s ohledem na vysokou tuhost a stabilitu stroje a umožňuje jak silové obrábění, tak velice přesné obrábění složitých dílců. Vysoce efektivní obrábění je zajištěno aplikací vysokorychlostních vřeten a vysokými rychloposuvy [32].

Tabulka 5 - Základní technické parametry MCV 1270 Power [35]

Upínací plocha stolu	1 500 x 670 mm
Maximální zatížení stolu	1 200 kg
Maximální otáčky vřetene	8 000 min ⁻¹
Pracovní rozsah osa x	1 270 mm
Pracovní rozsah osa y	610 mm
Pracovní rozsah osa z	720 mm
Příkon stroje	27 kW



Obrázek 30 - Obráběcí centrum MCV 1270 Power

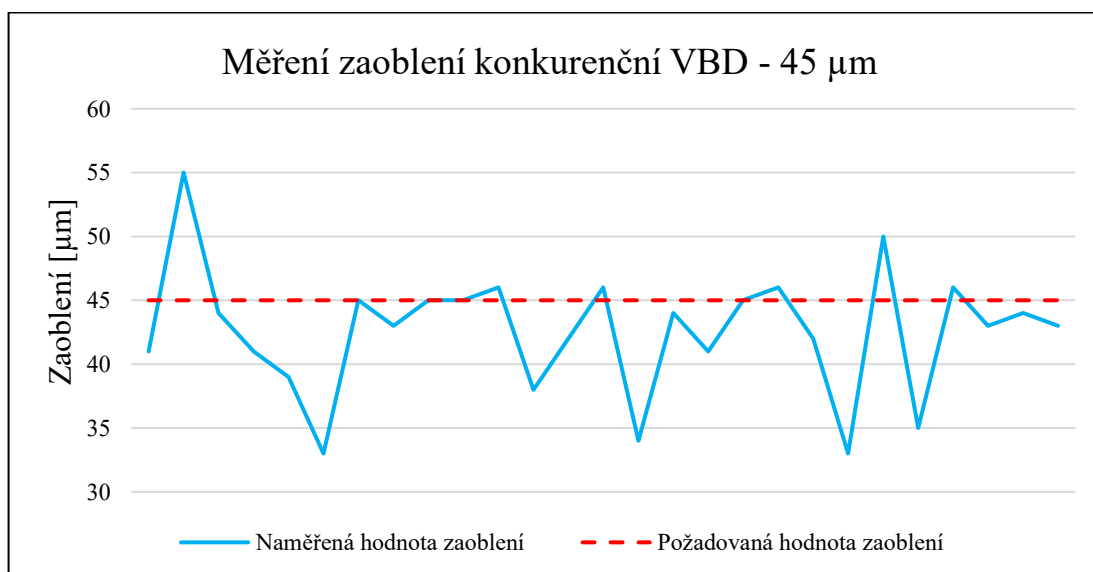
5.3 Vzorek č.1 – Konkurenční VBD

Zaoblení

Nejdříve byla měřena velikost zaoblení konkurenčních destiček pomocí Perthometeru a zpracování výsledků proběhlo pomocí programu MarWin, který vypočítá i odchylku od ideální kružnice zaoblení. K dispozici bylo 9 vzorků. Tento typ VBD má šest řezných hran. Nejprve byla změřena jedna strana VBD, která má tři řezné hrany a data byla zpracována – viz tabulka 6 a graf 1. Poté byla destička otočena a měřily se další tři řezné hrany, zpracování proběhlo obdobně v podobě tabulky 7 a grafu 2.

Tabulka 6 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 1.strana

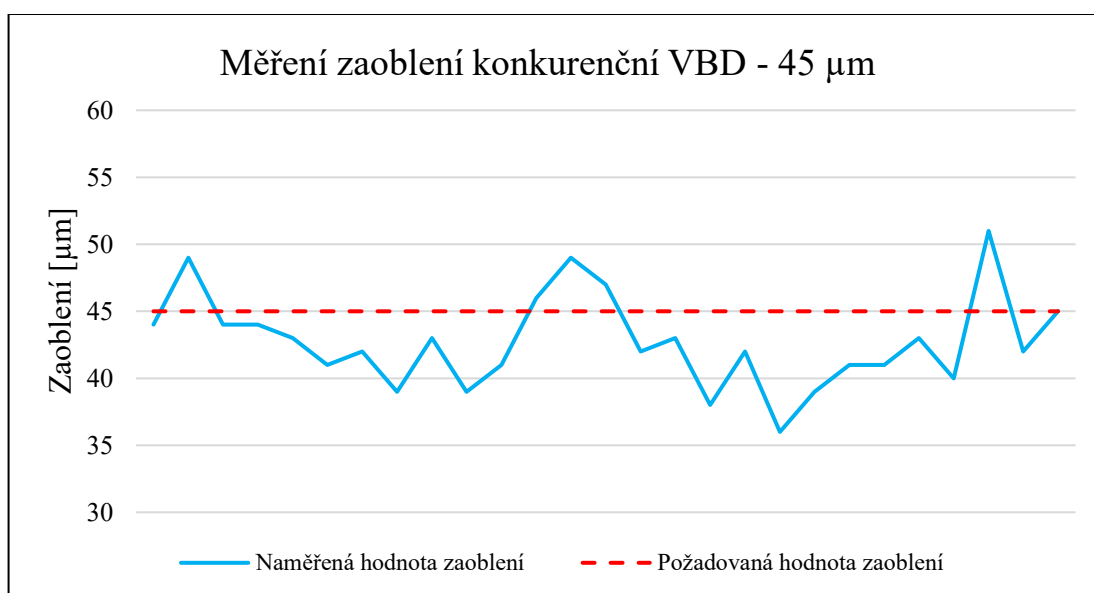
	Měření zaoblení 45 μm					
	•		••		•••	
	μm					
Vzorek	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka
1	41	4	45	7	46	2
2	55	3	46	4	42	3
3	44	4	38	5	33	6
4	41	3	42	4	50	6
5	39	7	46	3	35	4
6	33	8	34	6	46	3
7	45	3	44	5	43	2
8	43	6	41	3	44	2
9	45	3	45	4	43	2



Graf 1 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 1. strana

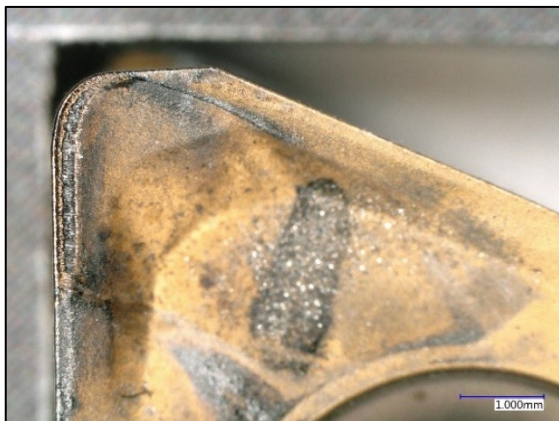
Tabulka 7 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 2.strana

	Měření zaoblení 45 μm					
	/		//		///	
	μm					
	Vzorek	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení
1	44	2	39	4	36	5
2	49	3	41	6	39	3
3	44	6	46	2	41	4
4	44	4	49	2	41	4
5	43	3	47	3	43	4
6	41	3	42	3	40	4
7	42	6	43	5	51	1
8	39	3	38	6	42	5
9	43	3	42	3	45	3



Graf 2 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 2.strana

Opotřebení



Obrázek 31 - vzorek č.1 - čelo, $t=28$ min



Obrázek 32 - vzorek č.1 - hřbet, $t=28$ min

Na čele nástroje se tvoří opotřebení ve tvaru žlábků neboli výmolů, dále vidíme mírné opotřebení na hřbetu nástroje.



Obrázek 33 - vzorek č.1 - čelo, $t=38$ min



Obrázek 34 - vzorek č.1 - hřbet, $t=38$ min

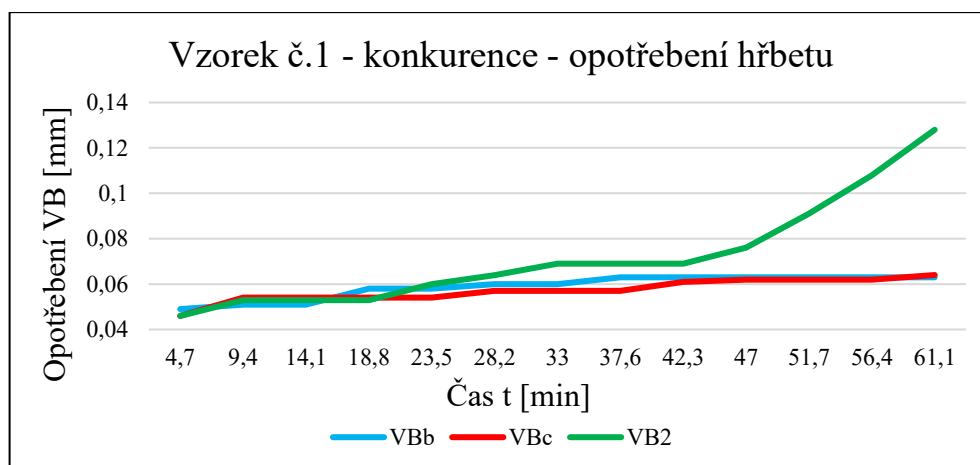
Dominantní opotřebení je zde výmol na čele nástroje.

Vývoj opotřebení se nadále v čase neměnil oproti stavu z obrázků 33 a 34, proto zde nejsou uvedeny žádné další fotografie opotřebení čela a hřbetu VBD.

Pro vyhodnocení opotřebení hřbetu byly použity naměřené hodnoty z mikroskopu.

Tabulka 8 - Hodnoty opotřebení

VB _b – opotřebení hlavního břitu VB _c – opotřebení špičky hlavního břitu VB ₂ – opotřebení vedlejšího břitu			Čas t [min]										
			4,7	14,1	18,8	28,2	33	37,6	42,3	47	51,7	56,4	61,1
Opotřebení	VB _b	[mm]	0,049	0,051	0,058	0,06	0,06	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063
	VB _c	[mm]	0,046	0,054	0,054	0,057	0,057	0,057	0,061	0,062	0,062	0,062	0,064
	VB ₂	[mm]	0,046	0,053	0,053	0,064	0,069	0,069	0,069	0,076	0,091	0,108	0,128



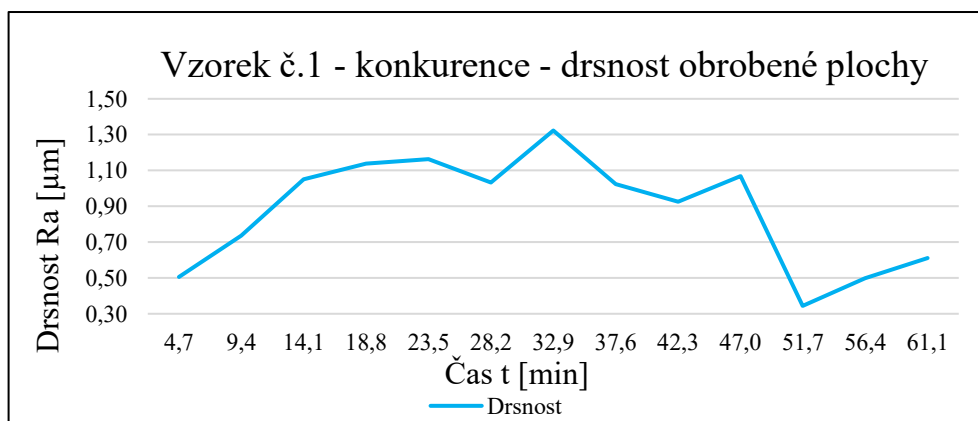
Graf 3 - Vzorek č.1 – konkurence – opotřebení hřbetu

Testy vzorků konkurenční VBD byly ukončeny v 61,1 minutě na základě dohody s řešitelem. Test trvanlivost nepokračoval až do úplné destrukce břítu VBD.

Drsnost

Měření drsnosti obrobeného povrchu proběhl pomocí drsnoměrů, typ neuveden.

Čas	4,7	14,1	18,8	28,2	32,9	37,6	42,3	47,0	51,7	56,4	61,1
Drsnost	0,51	1,05	1,14	1,03	1,32	1,02	0,93	1,07	0,34	0,50	0,61



Graf 4 - Vzorek č.1 – konkurence – drsnost obrobené plochy

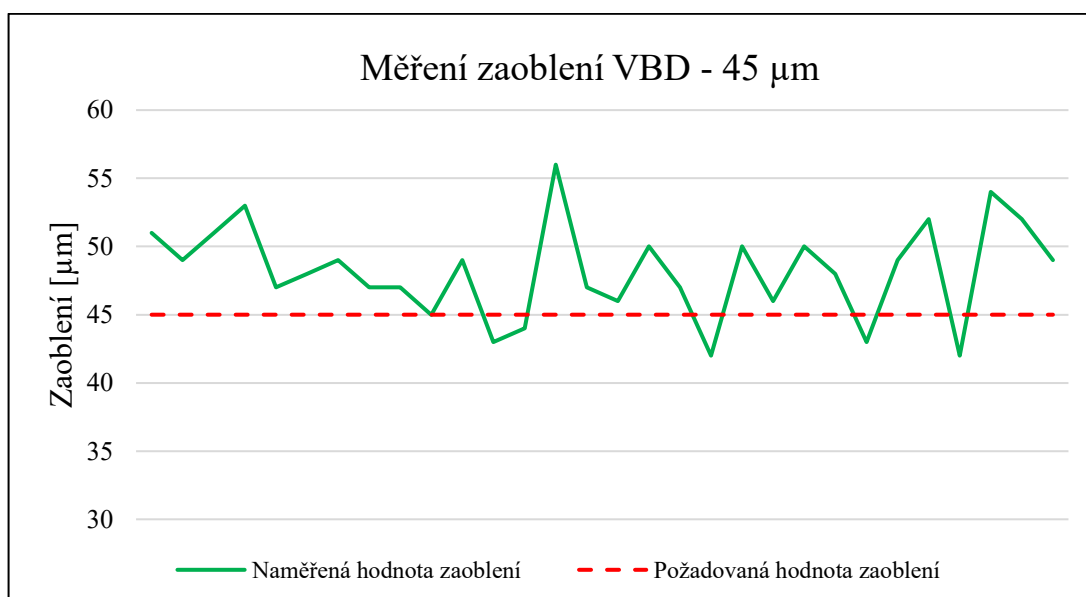
5.4 Vzorek č.2 - TNGX 16

Zaoblení

Získání hodnot zaoblení VBD TNGX 16 proběhlo stejnou metodikou jako u vzorku č.1, tudíž byl využit přístroj Perthometer a měřicí program MarWin. Výsledky byly zpracovány obdobně jako u vzorku č.1, aby byla zajištěna objektivita srovnání.

Tabulka 9 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 1. strana

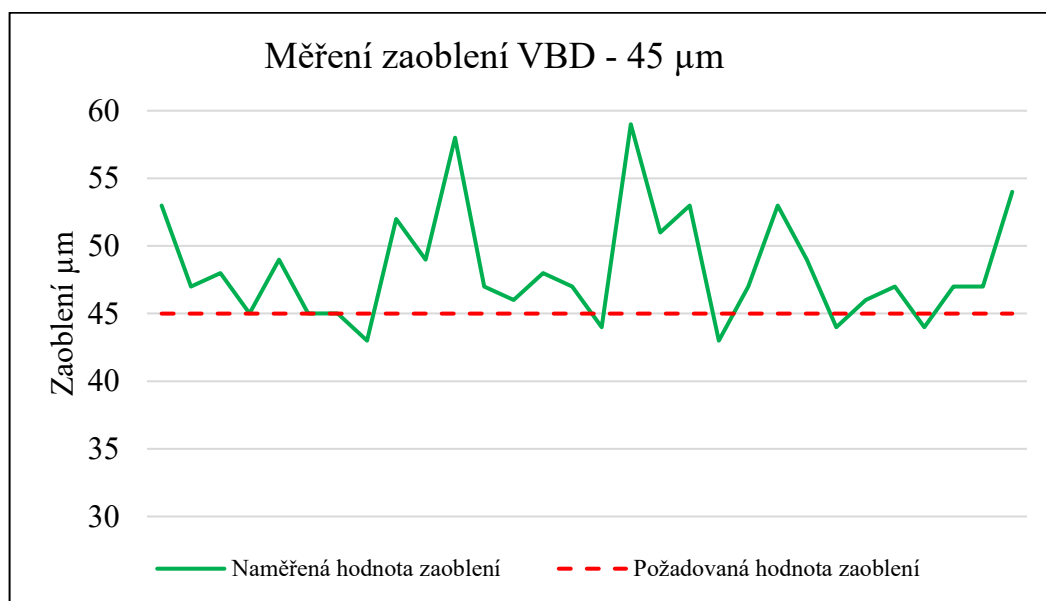
	Měření zaoblení 45 μm					
	•		••		•••	
	μm					
Vzorek	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka
1	51	2	49	1	46	1
2	49	2	43	1	50	1
3	51	0	44	3	48	1
4	53	1	56	2	43	0
5	47	2	47	1	49	0
6	48	3	46	1	52	1
7	49	0	50	4	42	1
8	47	3	47	2	54	3
9	47	3	42	1	52	1
10	45	1	50	2	49	1



Graf 5 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 1. strana

Tabulka 10 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 2. strana

Měření zaoblení 45 μm						
	/		//		///	
	μm					
Vzorek	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka	Zaokrouhlení	Odchylka
1	53	1	58	0	47	1
2	47	1	47	2	53	1
3	48	0	46	1	49	1
4	45	1	48	1	44	1
5	49	2	47	1	46	1
6	45	1	44	1	47	1
7	45	1	59	1	44	2
8	43	1	51	1	47	3
9	52	1	53	2	47	0
10	49	1	43	2	54	1



Graf 6 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 2. strana

Dle provedených měření se daří udržet zaoblení řezné hrany VBD v požadované toleranci výrobce. Požadovaná ideální hodnota zaoblení je 45 μm . Nejnižší naměřená hodnota zaoblení je 42 μm , nejvyšší naměřená hodnota zaoblení je 59 μm .

Opotřebení



Obrázek 35 - vzorek č.2 - čelo, $t=19\text{ min}$

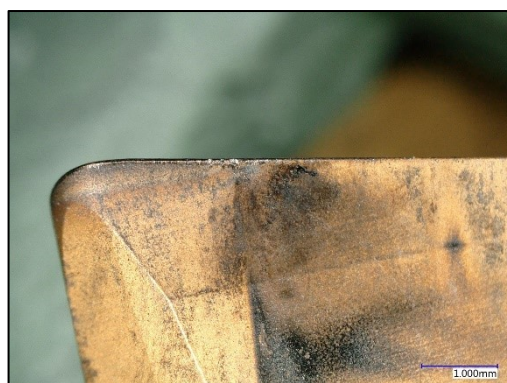


Obrázek 36 - vzorek č.2 - hřbet, $t=19\text{ min}$

Po 19–ti minutách v řezu jsou vidět teplotní trhliny, které se tvoří kolmo na ostří nástroje.



Obrázek 37 - vzorek č.2 - čelo, $t=28\text{ min}$



Obrázek 38 - vzorek č.2 - hřbet, $t=28\text{ min}$

Opotřebení na čele nástroje ve 28. minutě – výmol je větší než u konkurenčního vzorku.



Obrázek 39 - vzorek č.2 - čelo, $t=33\text{ min}$



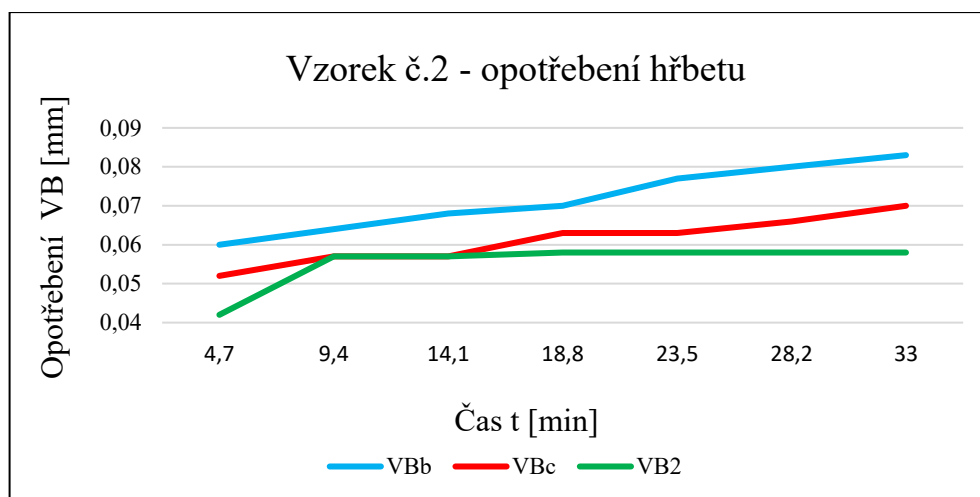
Obrázek 40 - vzorek č.2 - hřbet, $t=33\text{ min}$

Výrazné opotřebení na čele nástroje vyústilo ve vylomení břitu po 33. minutách v řezu.

Vyhodnocení opotřebení pomocí naměřených hodnot z mikroskopu

Tabulka 11 - Hodnoty opotřebení

VB _b – opotřebení hlavního břitu VB _c – opotřebení špičky hlavního břitu VB ₂ – opotřebení vedlejšího břitu			Čas t [min]						
			4,7	9,4	14,1	18,8	23,5	28,2	33
Opotřebení	VB _b	[mm]	0,06	0,064	0,068	0,07	0,077	0,08	0,083
	VB _c	[mm]	0,052	0,057	0,057	0,063	0,063	0,066	0,07
	VB ₂	[mm]	0,042	0,057	0,057	0,058	0,058	0,058	0,058

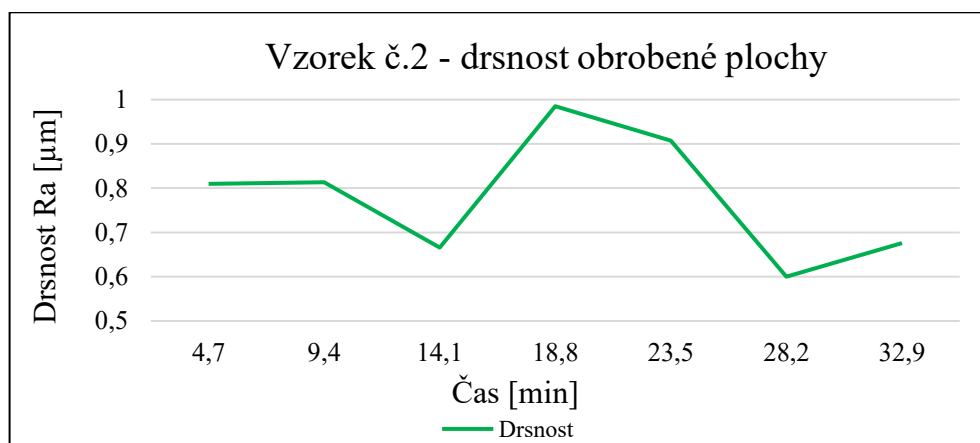


Graf 7 - Vzorek č.2 – DormerPramet – opotřebení hřbetu

Vyměnitelná břitová destička TNGX 16 společnosti DormerPramet dosáhla trvanlivosti 33 minut, poté došlo k vylomení části břitu VBD.

Drsnost

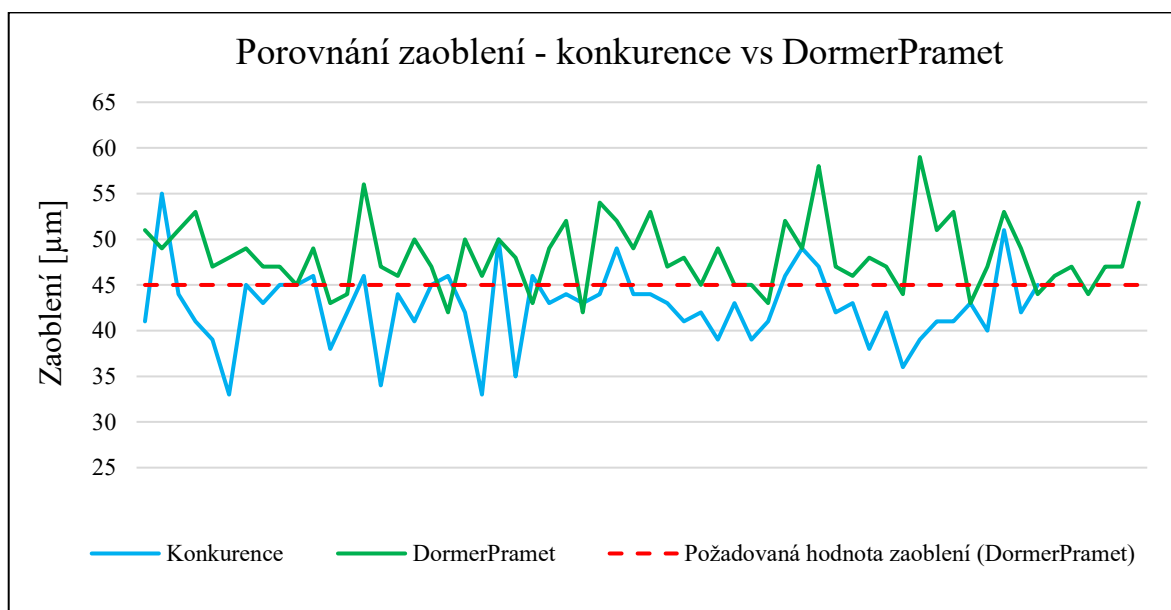
Čas	4,7	9,4	14,1	18,8	23,5	28,2	32,9
Drsnost	0,81	0,813	0,666	0,985	0,907	0,6	0,676



Graf 8 - Vzorek č.2 –DormerPramet - drsnost obrobene plochy

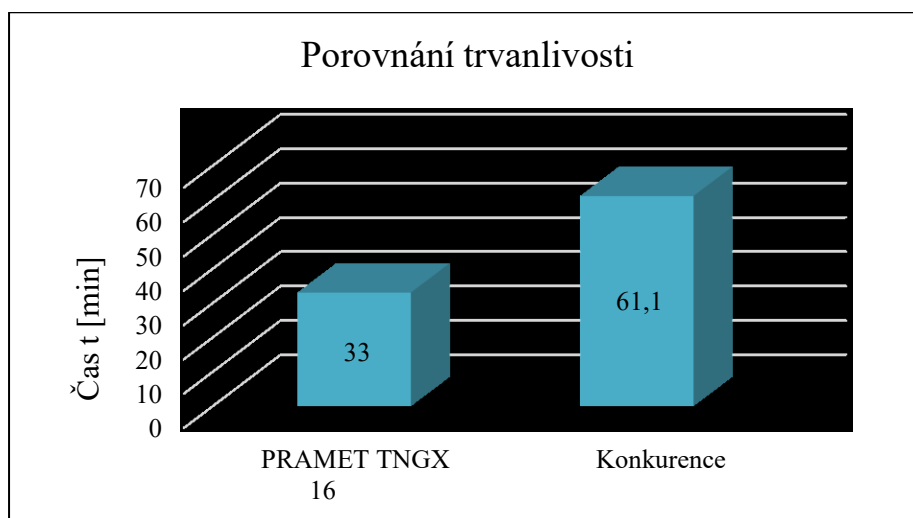
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Z naměřených hodnot zaoblení vyplynulo, že TNGX 16 má menší rozptyl naměřených hodnot zaoblení oproti konkurenci. Avšak výrobní toleranční pole konkurenční destičky je neznámé, tudíž nelze zhodnotit, zda se konkurenční VBD shoduje s jejich výrobní dokumentací (zda je vyrobena v tolerančním poli).



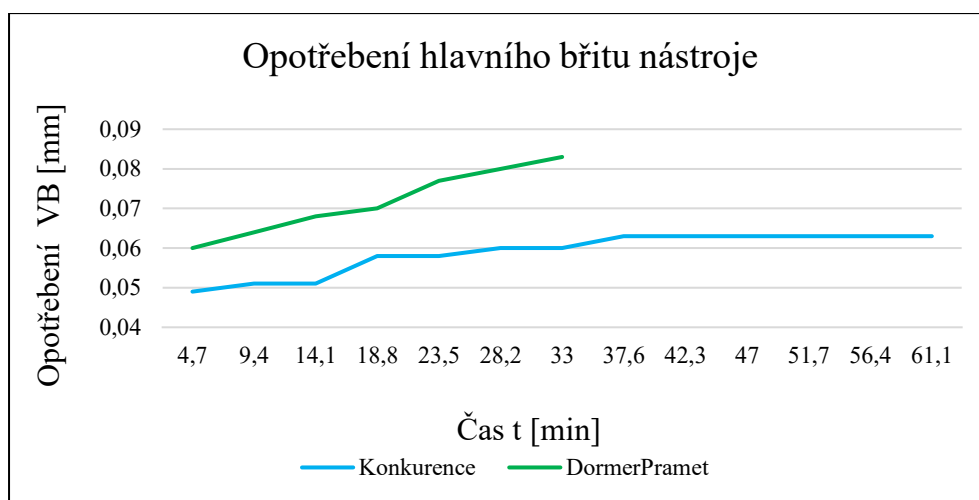
Graf 9 - Porovnání zaoblení – konkurence vs DormerPramet

Z porovnání trvanlivosti vyplývá, že konkurence je až dvojnásobně odolnější. Nutno podotknout, že trvanlivostní test konkurence, byl ukončen předčasně, tudíž by konečná trvanlivost (až do vylomení bříty) mohla být ještě vyšší.



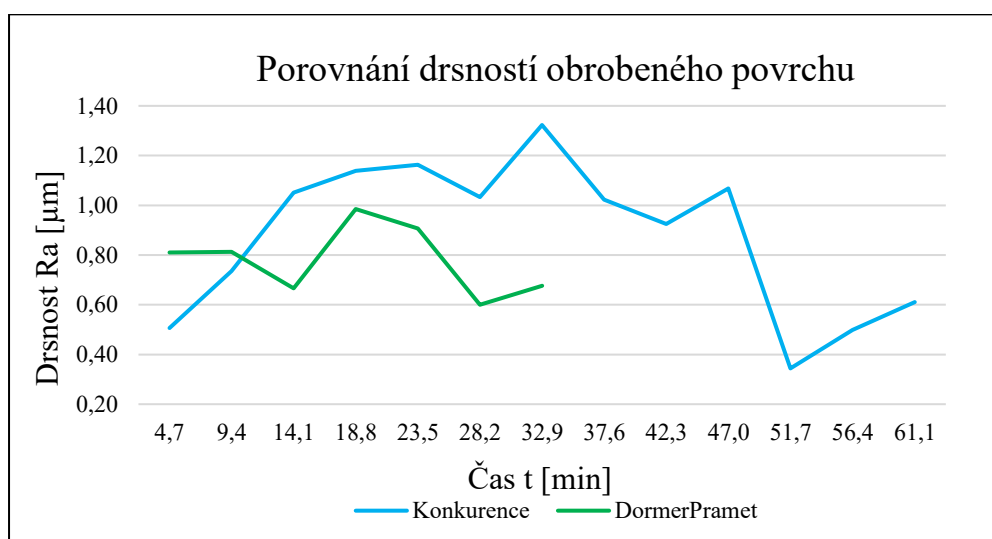
Graf 10 - Porovnání trvanlivosti

Tvar křivky průběhu opotřebení bříty konkurenční VBD odpovídá typickému tvaru T-VB závislosti. Tvar křivky napovídá, že opotřebení je v čase předvídatelné a stabilní, z toho důvodu má také konkurenční VBD vyšší trvanlivost. Tvar křivky průběhu VBD TNGX 16 je velmi neobvyklý, nevidíme náběh opotřebení, jeho ustálení v druhé části a jeho prudké zrychlení v konečné fázi před destrukcí bříty. Křivka vývoje opotřebení je víceméně lineární, s relativně vysokým sklonem, bez typických mezifází, ale oproti tomu konkurenční destička vykazuje typické stabilní chování.



Graf 11 - Opotřebení hlavního bříty nástroje

Měření drsnosti obrobeného povrchu proběhlo pomocí dílenského drsnoměru (typ neuveden) na ofrézované straně obrobku. Rozdíly mezi konkurencí a DormerPramet jsou do 30 %, ale obě varianty jsou uspokojivé pro běžné použití až finišování.



Graf 12 - Porovnání drsností obrobeného povrchu

ZÁVĚR

Trvanlivost a opotřebení řezného nástroje závisí zejména na zvolené metodě obrábění a na vlastnostech obráběného i nástrojového materiálu. Důležitá je vždy správná řezná rychlost, která ovlivňuje kvalitu obrobené plochy, velikosti řezných sil a životnost nástroje. V této diplomové práci se zabýváme porovnáním trvanlivostí vyměnitelných břitových destiček konkurenčních společností, které jsou vyrobeny se zaoblením 45 μm a byly testovány za stejných řezných a záběrových podmínek.

Pro experiment byla využita vyměnitelná břitová destička, která je konkurenční společnosti a TNGX 16, kterou vyrábí společnost DormerPramet. VBD byly testovány na obráběcím centru MCV 1270 Power a byla použita ocel 12 050.9. U každého vzorku nejdříve proběhlo měření zaoblení řezné hrany pomocí přístroje Perthometer a výsledky byly následně zpracovány programem MarWin. Dále bylo zkoumáno opotřebení na čele a hřbetu břitu nástroje. Na závěr byla měřena drsnost obrobené plochy.

Při stejných záběrových a řezných podmínkách dosáhl konkurenční vzorek č.1 delší trvanlivost a vykazuje typický stabilní průběh opotřebení řezného nástroje.

Z porovnání zaoblení měřených vzorků vyplývá, že společnost DormerPramet má menší rozptyl naměřených hodnot zaoblení oproti konkurenci.

Měření drsnosti obrobené plochy ukázaly, že obě varianty VBD jsou velmi uspokojivé pro běžné použití.

Na základě výsledků testů trvanlivosti prototypové destičky TNGX 16 budou další práce při vývoji destiček TNGX 16 zaměřeny na zvýšení trvanlivosti

Poděkování

Touhle cestou bych chtěla poděkovat společnosti DormerPramet, zejména tedy panu Ing. Miroslavu Kouřilovi, za vstřícný přístup při konzultacích a všestrannou pomoc.

Dále chci poděkovat panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za jeho vedení, odborné rady a připomínky při vypracovávání této práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. Prametheus: Pramet do škol. *Prametheus* [online]. Dostupné z: <https://www.prametheus.cz/o-nas>
2. Historie a současnost Pramet Tools. *IPROSPERITA* [online]. 2012, 6. srpen 2012 Dostupné z: <https://www.iprosperita.cz/firmy/2145-historie-a-soucasnost-pramet-tools>
3. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
4. VAŇÁK, Antonín. *Technologie frézování*. Šumperk, 2007. Střední odborná škola a Střední odborné učiliště Šumperk.
5. ING. KAVKOVÁ, D. *Frézování: Základní charakteristika frézování*. In: [Http://www.docplayer.cz](http://www.docplayer.cz) [online]. 2016 Dostupné z: <http://docplayer.cz/45994764-Zakladni-charakteristika-frezovani-frezovanitriskove-obrabeni-rovinnych-i-vnitrnich-a-vnejsich-tvarovych-ploch-strojefrezky-nastroje-frezy.html>
6. BRYCHTA, Josef. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R. ISBN 978-80-248-1505-3
7. *Mechanické zatížení při frézování* [online]. 24.6.2015 Dostupné z: [http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=6351&cHash=c332423050&type=98](http://udrzbapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=6351&cHash=c332423050&type=98)
8. Rohové frézování. *Sandvik Coromant* [online]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/shoulder-milling.aspx?Country=cz>
9. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s. r. o., *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. 1. vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, 1997, 1 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.

10. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje: Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI* [online]. Brno, 2006. Dostupné z: ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
11. PAVELKA, Rudolf. *Analýza vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Osička, Ph. D
12. *Výroba VBD a druhy povlaků* [online]. Dostupné také z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabeni_331.pdf
13. *Seco uvádí břitové destičky s detekcí opotřebení řezných hran*. 2017. Dostupné také z: <https://www.konstrukter.cz/seco-uvadi-britove-desticky-s-detekci-opotrebeni-reznych-hran/>
14. Geometrie soustružnického nože, Eluc [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1219>
15. *Vyměnitelné břitové destičky* [online]. Dostupné z: http://u12134.fs.cvut.cz/podklady/ON/2013_3_Vymenitelne_britove_desticky.pdf
16. *DormerPramet: Katalog 2020* [online]. Dostupné také z: <https://www.dormerpramet.com/downloads/2019%20general%20catalogue%20pramet%20set4%20cz-ru-pl-sk.pdf>
17. ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Úvod do teorie obrábění: Opotřebení řezných nástrojů* [online]. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita. Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3013-1.
18. ČEP, Robert, *Technologie II* [online]. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita. Ostrava. Dostupné také z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf

19. *Průručka pro technology: Opotřebení se nevyhneme*. MM Spektrum [online]. 2012, Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme.html>
20. Opotřebení břitů. *Sandvik Coromant* [online]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/wear-on-cutting-edges.aspx>
21. *Druhy opotřebení břitů nástroje* [online]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrazeni_321.pdf
22. MRKVICA, Ivan a Václav MORAVEC. Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů. *MM Spektrum* [online]. 2007. Dostupné z: 14. <https://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju.html>
23. ČESÁKOVÁ, Ivana a Miroslav ZETEK. *Diagnostika stavu řezného břitu po mikroupravách* [online]. Plzeň, 2011. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12659512-Diagnostika-stavu-rezneho-britu-po-mikroupravach.html>
24. ZETEK, Miroslav, Helena ZÍDKOVÁ a Ivana ČESÁKOVÁ. *Vliv tvaru řezné hrany nástroje na průběh řezného procesu* [online]. Plzeň, 2009. Dostupné z: https://www.mercel.cz/mercelcz_files/drsnost_povrchu.pdf
25. KRÍŽ, Antonín. *Nejdůležitější oblast nástroje – ostří*. MM Spektrum [online]. 2014. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nejdulezitejsi-oblast-nastroje-ostri.html>
26. FULEMOVÁ, Jaroslava. *Studie problematiky zvyšování řezivosti nástroje při frézování feriticko-martenzitické oceli P91*. Plzeň, 2017. disertační práce (Ph.D.). ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Fakulta strojní
27. CORTÉS RODRÍGUEZ, C. J. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing*. Kassel: kassel university press GmbH, 2009, 189 s. ISBN 978-3-89958-712-8.

28. BÁČOVÁ, Radka. *Dokonalé povrchy řezných nástrojů*. MM Spektrum. 2017 Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dokonale-povrchy-reznych-nastroju.html>
29. Spindle or Drag Finishing [online]. Dostupné z: <http://www.rcmdeburring.com/equipment/spindledrag.php>
30. *E-katalog* [online]. Dostupné také z: <http://www.imc-companies.com/Tungaloy/TungaloyCatalog/Family.aspx?fnum=1691&mapp=ML&app=505&pageType=4&rel=T>
31. *Nová materiálová řada – univerzál pro všechno* [online]. 2015. Dostupné také z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/nova-materialova-rada-univerzal-pro-vsechno_29083.html
32. *NAKO: Internetový katalog* [online]. Dostupné také z: <http://katalog.nako-mb.cz/detail.php?id=101129>
33. *ČSN 12050: ocel k zušlechťování* [online]. Dostupné také z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-12050.pdf>
34. *Ocel 12050* [online]. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/databaze/ocel_12050.3.pdf
35. *MCV 1270. Kovosvit MAS* [online]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcv-1270-p9.html#accessories>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Čelní a válcové frézování [5]	12
Obrázek 2 - Nesousledné frézování [5]	12
Obrázek 3 - Sousledné frézování [5]	12
Obrázek 4 – Rozložení řezné síly při sousledném frézování [6]	13
Obrázek 5 – Rozložení řezné síly při nesousledném frézování [6]	14
Obrázek 6 - Rohové frézování [8]	14
Obrázek 7 – Vyměnitelná břitová destička [13]	18
Obrázek 8 - Značení VBD [16].....	20
Obrázek 9 - Značení VBD [16].....	21
Obrázek 10 - Mechanismy opotřebení [3]	22
Obrázek 11 - Opotřebení na hřbetě [20]	23
Obrázek 12 - Opotřebení na čele ve tvaru žlábků [20]	23
Obrázek 13 - Opotřebení na špičce – plastická deformace [20]	24
Obrázek 14 - Opotřebení na hřbetě ve tvaru vrubu [20]	24
Obrázek 15 - Hřebenové trhliny na ostří [20]	25
Obrázek 16 - Únavový lom nástroje [17]	25
Obrázek 17 - Vydrolování ostří [18].....	26
Obrázek 18 - Lom břitu nástroje [19]	26
Obrázek 19 - Tvorba nárůstku [19].....	27
Obrázek 20 - Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech [17]	29
Obrázek 21 - Zlogaritmovaný vztah $T-v_c$ [13]	29
Obrázek 22 - Schéma břitu nástroje [22]	30
Obrázek 23 - Relativní pozice brusného kartáče a řezného nástroje [27]	31
Obrázek 24 - Relativní pozice proudu abraziva a řezného nástroje [27].....	32
Obrázek 25 - Schéma omílání [29]	32
Obrázek 26 – Konkurenční VBD[30]	33
Obrázek 27 - TNGX 10 [32].....	33
Obrázek 28 – Fréza 50A05R-S90TN16-C-P01	34
Obrázek 29 - Frézování materiálu 12 050.9	35
Obrázek 30 - Obráběcí centrum MCV 1270 Power	36
Obrázek 31 - vzorek č.1 - čelo, $t=28$ min	Obrázek 32 - vzorek č.1 - hřbet, $t=28$ min...39
Obrázek 33 - vzorek č.1 - čelo, $t=38$ min	Obrázek 34 - vzorek č.1 - hřbet, $t=38$ min...39

Obrázek 35 - vzorek č.2 - čelo, t=19 min	Obrázek 36 - vzorek č.2 - hřbet, t=19 min...43
Obrázek 37 - vzorek č.2 - čelo, t=28 min	Obrázek 38 - vzorek č.2 - hřbet, t=28 min...43
Obrázek 39 - vzorek č.2 - čelo, t=33 min	Obrázek 40 - vzorek č.2 - hřbet, t=33 min...43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Rozdělení SK dle ISO 513 [14].....	19
Tabulka 2 - Řezné podmínky	34
Tabulka 3 - Chemické složení v % (ocel 12 050) [33]	35
Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti – ocel 12050 [33,34].....	35
Tabulka 5 - Základní technické parametry MCV 1270 Power [35]	36
Tabulka 6 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 1.strana	37
Tabulka 7 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 2.strana	38
Tabulka 8 - Hodnoty opotřebení	40
Tabulka 9 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 1. strana	41
Tabulka 10 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 2. strana	42
Tabulka 11 - Hodnoty opotřebení	44

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 1. strana.....	37
Graf 2 - Měření zaoblení konkurenční VBD – 2.strana.....	38
Graf 3 - Vzorek č.1 – konkurence – opotřebení hřbetu	40
Graf 4 - Vzorek č.1 – konkurence – drsnost obrobené plochy	40
Graf 5 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 1. strana.....	41
Graf 6 - Měření zaoblení VBD TNGX 16 – 2. strana.....	42
Graf 7 - Vzorek č.2 – DormerPramet – opotřebení hřbetu	44
Graf 8 - Vzorek č.2 –DormerPramet - drsnost obrobené plochy	44
Graf 9 - Porovnání zaoblení – konkurence vs DormerPramet.....	45
Graf 10 - Porovnání trvanlivosti	45
Graf 11 - Opotřebení hlavního bříty nástroje.....	46
Graf 12 - Porovnání drsností obrobeného povrchu.....	46